

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Institut dopravy**

**Provozní spolehlivost železničních kolejových vozidel**

**Operation Reliability of The Rail Vehicles**

Student:

Petr Černohous

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2010

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....  
**podpis**

Jméno a příjmení autora práce: Petr Černohous

Adresa trvalého pobytu autora práce: U Hájenky 41

Vikyřovice, 788 13

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ČERNOHOUS, P. *Provozní spolehlivost železničních kolejových vozidel: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2009, 61 s.  
Vedoucí práce: Ing. Jan Famfulík, Ph.D

Bakalářská práce se zabývá hodnocením provozní spolehlivosti železničních kolejových vozidel. Práce hodnotí bezporuchovost elektrických obvodů stejnosměrné elektrické lokomotivy, která je vybavena mikroprocesorovým řídícím systémem HS 198 od výrobce HS TRANS Olomouc. Tento systém je vybaven diagnostikou poruch, které je možno zpracovávat pomocí výpočetní techniky a dále pak provádět statistické vyhodnocení a analýzu dat. Základem pro tuto analýzu byly zvoleny poruchy v elektrických obvodech vozidla 150.026 – 3, které nastaly v době od 28.12.1999 do 14.12.2000. Tyto poruchy byly zařazeny do tří skupin dle jejich místa výskytu a byly vyhodnoceny pomocí analytických nástrojů programu Excel. Výsledkem analýzy bylo stanovení etapy technického života uvedeného vozidla.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

ČERNOHOUS, P. *Operation Reliability of The Rail Vehicles: Bachelor Thesis.* Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2009, 61 p. Master: Ing. Jan Famfulík, Ph.D

The bachelor thesis *Operation Reliability of The Rail Vehicles* deals with valuation of operation reliability of the rail vehicles. This thesis judge electrical circuits reliability in direct current electrical locomotive which is equipped by microprocessor control system HS 198 from HS TRANS Olomouc producer. This system contains fault diagnosis which allows computerising, statistical evaluation and analysis of failure data. The basis for the failure data anylysis are break-downs in electrical circuits of railway vehicle 150.026 – 3 recorded from 28.12.1999 to 14.12.2000. The break-downs were devided according to their appearance place to three data categories and valuated by means of EXCEL application analytical methods. The results of analysis made possible to specify the stage of mentioned vehicle technical life.

## Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ.....	7
Úvod .....	8
1. Technický popis lokomotivy řady 150 a 151 .....	9
1.1 Mikroprocesorový řídicí systém HS 198 .....	13
2. Statistické metody hodnocení spolehlivosti.....	15
2.1 Charakteristiky provozní spolehlivosti .....	15
2.1.1 Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000 .....	15
2.1.2 Spolehlivost dle ČSN IEC 50(191).....	16
2.2. Nástroje pro hodnocení provozní spolehlivosti .....	20
2.2.1 Histogram četností .....	20
2.2.2 Paretova analýza .....	22
2.2.3 Weibullovo rozdělení.....	23
2.2.4 Diagram příčin a následků .....	26
2.2.5 Statistická regulace .....	26
3. Provedení odhadů spolehlivostních charakteristik vozidel s využitím empirických dat.....	28
3.1 Histogramy četností poruch elektrických obvodů vozidla 150.026 - 3 .....	28
3.2 Weibullovo rozdělení poruch elektrických obvodů lokomotivy 150.026 - 3 .....	39
4. Technické a ekonomické zhodnocení získaných výsledků.....	53
Závěr .....	54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	55
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	57
SEZNAM TABULEK .....	58
SEZNAM PŘÍLOH .....	59
Příloha A.....	60
Příloha B     CD s aplikací výrobce řídicího systému HS 198	

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

<u>Znak</u>	<u>Význam</u>	<u>Jednotka</u>
CPU 1	(central processing unit), centrální řídicí jednotka 1	-
CPU 2	(central processing unit), centrální řídicí jednotka 2	-
ČD	České dráhy	-
ČD V 25	Technický předpis Českých drah	-
ČSD	Československé státní dráhy	-
DKV	depo kolejových vozidel	-
EDB	elektrodynamická brzda	-
E G	generální oprava	-
E H	hlavní oprava	-
E M	malá prohlídka	-
E 0	provozní ošetření	-
E V	velká prohlídka	-
E VY	vyvazovací oprava	-
HKV	hnací kolejové vozidlo	-
HS 198	systém, který zjišťuje poruchy v trakčním obvodu vozidla	-
HV	hnací vozidlo	-
R	poloměr	m
TM	trakční motor	-
VN	vysoké napětí	V
ŽKV	železniční kolejové vozidlo	-

## Úvod

V mé práci jsem hodnotil bezporuchovost elektrických obvodů na vozidle 150.026– 3. Poruchy, které v elektrických obvodech nastaly v době od 28.12.1999 do 14.12.2000, byly zaznamenány mikroprocesorovým řídicím systémem HS 198, a pro lepší přehlednost jsem všechny poruchy zařadil do tří skupin, dle jejich místa výskytu. Těmto skupinám jsem přiřadil názvy: trakční obvody, pomocné pohony a řídicí obvody.

Díky tomu, že jsem znal počty jednotlivých poruch a kilometrický proběh vozidla, kdy byly poruchy zjištěny, jsem sestavil histogramy četností poruch všech skupin elektrických obvodů. Dle tvaru histogramů jsem každé skupině přiřadil vhodný zákon rozdělení, vypočítal jeho parametry a charakteristiky a sestavil grafy charakteristik, ze kterých je patrné, ve které skupině nastala porucha s největší pravděpodobností, která má naopak největší pravděpodobnost bezporuchového provozu a ve které skupině nastaly poruchy o největší intenzitě.

## 1. Technický popis lokomotiv řady 150 a 151

Roku 1976 byla zadána výroba 27 lokomotiv páté řady druhé generace lokomotiv Škoda. Důvodem zadání jejich výroby byla potřeba výkonnějších strojů, než byly lokomotivy řad E 499.0 (140) a E 499.1 (141), jejichž výkon pro rozvíjející se rychlíkovou dopravu přestával postačovat. Nové lokomotivy měly být odvozeny od dvousystémových lokomotiv řady ES 499.0 (350) při vypuštění částí určených pro jízdu na střídavém systému. Všechny 27 lokomotiv bylo dodáno v roce 1978 a byly označeny řadou E 499.2, po zavedení nového značení hnacích vozidel byly označeny jako řada 150 (Obr. 1). V roce 1992 byla v plzeňské Škodě dokončena rekonstrukce lokomotivy 150.020 - 6 ČSD (Československé státní dráhy), která v roce 1994 dostala nové označení 151.020 - 5 ČD (České dráhy) a založila tak novou lokomotivní řadu 151 (Obr. 2). Sériové rekonstrukce řady 150 na řadu 151 byly zahájeny v roce 1992 a ukončeny roku 2002. Rekonstruované lokomotivy jsou schváleny pro maximální rychlost  $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (z původních  $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), což bylo umožněno některými konstrukčními vylepšeními – lokomotivy dostali podélné tlumiče vrtivých pohybů podvozku, bezpečnostní čelní skla, nový vlakový zabezpečovač, elektronický rychloměr, nový kompresor a protismykový systém. Další zajímavou rekonstrukcí je demontáž mezikontroléru a dosazení mikroprocesorového řídicího systému HS 198, kterému se více věnuji v kapitole 1.1. Cena rekonstrukce jedné lokomotivy činí asi 11 000 000 Kč.



Obr. 1 - Lokomotiva řady 150 [9]



Lokomotivy řady 150 (151) se v době svého vzniku řadili ke světové špičce a i dnes patří k nejlepším vozidlům ČD. Patří spíše ke spolehlivějším lokomotivám, ikdyž ani jim se nevyhýbají běžné závady. Kladem lokomotivy jsou dobré chodové vlastnosti a vysoký instalovaný výkon. Velkou nevýhodou jsou malé brzdicí váhy, což je v poslední době ještě umocněno použitím brzdových špalíků z umělé hmoty. Často se vyskytující závadou je netěsnost čelních skel, problematická jsou i lepená skla na strojích řady 151, jejichž fólie se časem odlupuje. Nový šroubový kompresor na lokomotivách řady 151 vykazuje také značnou poruchovost, neboť není plně vyhovující pro nestacionární aplikace a díky otřesům ve strojovně značně trpí. Ve špatném stavu jsou i akumulátorové baterie.



Obr. 2 – Lokomotiva řady 151 [10]

Vozidlo řady 151 je skříňovitá podvozková lokomotiva se dvěma koncovými stanovišti strojní obsluhy a centrální strojovnou. Stanoviště strojvedoucího jsou přístupná oboustranně, na stanovištích je průběžný pult, jehož pravá část je řešena jako řídicí pult unifikovaného typu s veškerými prvky pro ovládání lokomotivy za jízdy. Strojovna je přístupná dveřmi ze zadní stěny obou stanovišť.

Lokomotiva má ocelovou samonosnou skříň s nosným spodním rámem s přimontovaným narážecím a tažným ústrojím. Skříň je svařena z ocelových a ohýbaných plátů. V dutinách skříně jsou umístěny písečníky s celkovou kapacitou 1 500 kg písku. Písečníky jsou plněny střešou a pod kola je písek dopravován samospádem a pneumaticky.

Rám skříně je otočnými čepy, zapuštěnými pevně v rámech podvozků, spojen dvěma podvozky. Oba jsou hnací, dvounápravové, s dvojitým vypružením a mazáním okolků. Z podélníků rámu podvozku vedou dolů svislé trny dole se záchytkami. Tyto trny slouží k vedení dvojkolí a prochází pružinami primárního vypružení. Dvojkolí jsou v klasickém provedení s loukoťovými koly a natahovanou obručí. Primární vypružení je provedeno vinutými ocelovými pružinami, doplněnými paralelně zařazenými hydraulickými tlumiči (každé dvojkolí je tlumeno jedním tlumičem na obou stranách). Pod podvozkovým rámem prochází podvlečený příčník, na jehož koncích spočívá na podpěrách lokomotivní skříň. Podvlečený příčník je vypružen dvěma vinutými ocelovými pružinami na obou koncích. Ve svislém i příčném směru je sekundární vypružení tlumeno kapalinovými tlumiči. V rámu podvozku jsou pevně uloženy dva trakční motory, které jsou vůči nápravám plně odpruženy. Točivý moment je na jednostranný nápravový převod přenášen kloubovou spojkou Škoda.

Odběr proudu z trakčního vedení zajišťují dva polopantografové sběrače proudu s pneumatickým pohonem. Přes odpojovače s elektropneumatickými ventily je proud veden do hlavního vypínače. Jedná se o elektromagnetický vypínač s hodnotou vypínacího proudu 2 800 A. Hlavní vypínač je ovládán dálkově dvěma ovladači z každého stanoviště. Od hlavního stanoviště je elektrický proud veden k vysokonapětovým přístrojům.

Lokomotiva je vybavena modernějším typem odporové regulace. Rozjezdový odporník je uložen ve střeše a je intenzivně chlazen axiálními ventilátory, napájenými z úbytku napětí na odporníku. Odporník je vyroben z fechrálu, což je slitina železa, chromu a hliníku, a je dimenzován pro trvalé zatížení.

Lokomotiva je poháněna čtyřmi trakčními motory, každý o výkonu 1 MW. Jedná se o stejnosměrné sériové šesti pólové elektromotory s kompenzačním vinutím, umožňujícím maximální kvalitu průběhu komutace. Trakční motory jsou řazeny do dvou motorových skupin, zapojení motorů je sériové a sérioparalelní. Přechod ze série na sérioparalel je můstkový, dvoustupňový a provádí jej hlavní kontrolér. Ventilace trakčních motorů je cizí – zajišťují ji ventilátory, poháněné stejnosměrnými elektromotory.

Dále je lokomotiva vystrojena výkonnou elektrodynamickou brzdou. Ta pracuje pouze v režimu brzdění do odporníku. Výkon brzdy je dán tlakem vzduchu v převodníku, který zadává strojvedoucí řídícím kontrolérem. Elektrodynamická brzda nabíhá automaticky při zahájení brzdění samočinnou tlakovou brzdou, je ji ale možné používat i samostatně.

Zdrojem napětí pro palubní síť je niklokadmiiová akumulátorová baterie o kapacitě 150 Ah. Napětí palubní sítě činí 48 V stejnosměrných. Baterie je dobíjena dvěma nabíjecími dynamy, poháněnými od ventilátorů trakčních motorů [14].

Tab. 1 – Tabulka technických údajů lokomotiv řady 150, 151 [14]

Výrobce	ŠKODA Plzeň
Tovární označení	65 E 1 / 65 Em 1
Rok výroby [reko]	1978 [1992-2002]
Vyrobena [reko] ks	27 [13]
Rozchod	1 435 mm
Pojezd	Bo'Bo'
Trakční systém	3 kV ss
Délka přes nárazníky	16 740 mm
Délka skříně	15 500 mm
Šířka	2 940 mm
Výška se st. sběrači	4 640 mm
Pevný rozvor	3 200 mm
Celkový rozvor	11 500 mm
Vzdálenost otočných čepů	8 300 mm
Minimální R oblouku	120 m
Služební hmotnost	82,4 [82] t
Max. hmotnost na nápravu	20,6 [20,5] t
Průměr nových dvojkolí	1 250 mm
Nápravový převod	1:2,441 [1:2,162]
Výkon / přetlak kompres.	120 [113] m <sup>3</sup> /h / 10 bar
Regulace výkonu	odporová
Trvalý proud TM	715 A
Hodinový proud TM	740 [750] A
Jm. napětí na svorkách TM	3 000/2 V
Trvalá tažná síla	138 [126] kN
Hodinová tažná síla	147 [134] kN
Maximální tažná síla	227 [210] kN
Trvalý výkon	4 000 kW
Hodinový výkon	4 200 kW
Trvalý výkon EDB	3 600 kW
Maximální rychlost	120 [160] km·h <sup>-1</sup>
Údaje v hranatých závorkách platí pro řadu 151	

## 1.1 Mikroprocesorový řídicí systém HS 198

Je to systém, umožňující provádět diagnostiku poruch elektrických obvodů lokomotiv řady 150, 151. Každý sledovaný prvek je vybaven vlastním počítadlem výskytu poruch, které se zaznamenávají do řídicího systému hned po jejich zjištění [8]. V příloze A, která je součástí vybavení lokomotivy, je uvedeno číslo poruchy, její popis a možnost jejího odstranění.

Při odstavení vozidel řady 150, 151 (vybavených řídicím systémem HS 198) do periodické prohlídky nebo do neplánované opravy v DKV (depo kolejových vozidel) Praha byly za účelem zobrazení poruch elektrických obvodů vytvořeny soubory dat o poruchách. Tato data stahují pracovníci opravny. K jejich dalšímu zpracování pak slouží aplikace výrobce řídicího systému HS 198, která je uvedena v příloze B.

Tab. 2 – Nastavení mikroprocesorového řídicího systému HS 198 [8]

Nastavení HS 198:	
Jmenovitá / maximální rychlost:	160 / 160 km/h
Podpětí baterie / troleje:	39 / 2200 V
Minimální / maximální proud:	300 / 1100 A
Proud přeskočku 1 / 2:	150 / 300 A
Doba pro stykače:	1000 mA
První start CPU:	1
Průměr kol:	1190 mm



Obr. 3 – Řídicí systém HS 198 [13]

Tab. 3 – Příklady poruch elektrických obvodů lokomotiv řady 150 a 151 [11]

<b><u>Diagnostika poruch lokomotiv řady 150 a 151</u></b>		
<b>Číslo chyby</b>	<b>Popis poruchy</b>	<b>Pokyny pro obsluhu</b>
Chyba 1	Porucha linkového stykače S1	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 2	Porucha linkového stykače S2	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 3	Porucha linkového stykače S3	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 4	Porucha linkového stykače S4	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 5	Porucha linkového stykače S5	Kontrola silového a pomocného kontaktu

Kde:

Číslo chyby – udává pořadové číslo chyby,

Popis poruchy – specifikuje součást, která se nachází v poruše,

Pokyny pro obsluhu – úkol, který obsluha lokomotivy vykoná, když je zjištěna porucha.

Celá tabulka, se všemi poruchami je uvedena v příloze A.

## 2. Statistické metody hodnocení spolehlivosti

### 2.1 Charakteristiky provozní spolehlivosti

Jakost výrobku nebo služby je popisována pomocí jakostních charakteristik.

Jakostní charakteristiky dělíme na:

- **kvalitativní** – nelze je měřit, např. vzhled,
- **kvantitativní** – jsou měřitelné, např. spolehlivost.

Jakost, kvalita – schopnost souboru inherentních znaků výrobku, systému nebo procesu plnit požadavky zákazníků [ ČSN ISO 9000:2000].

ČSN ISO 9000 – základní řada norem pro řízení jakosti.

#### 2.1.1 Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000 [4]

**Spolehlivost je souhrnný termín**, pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují:

- bezporuchovost – je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek,
- udržitelnost – je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky,
- zajištěnost údržby – je schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby.

**Spolehlivost je chápána jako komplexní vlastnost objektu:**

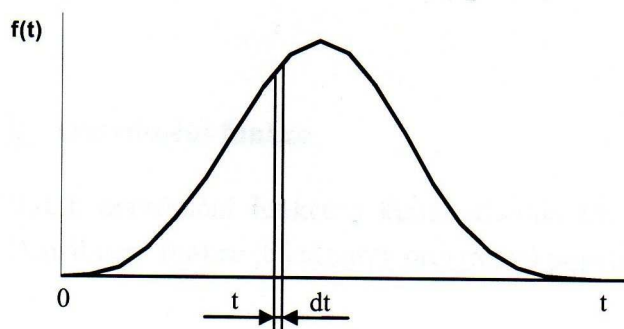
- bezpečnost – je vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví a životní prostředí během plnění předepsané funkce,
- životnost – je schopnost objektu plnit požadované funkce do okamžiku dosažení mezního stavu při stanoveném systému předepsané údržby a oprav,
- pohotovost – je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce v daném časovém okamžiku a v daných podmínkách,
- filozofie údržby – je systém principů pro organizování a provádění údržby [6].

### 2.1.2 Spolehlivost dle ČSN IEC 50(191) [5]

**Spolehlivost je charakterizována jako pravděpodobnost bezporuchového provozu.**

Od této vlastnosti jsou odvozeny další **charakteristiky**:

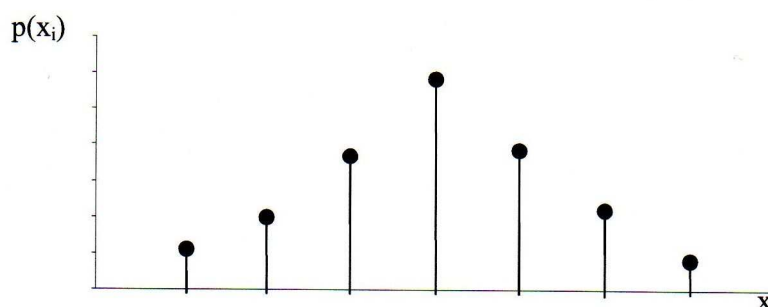
- hustota pravděpodobnosti poruchy – je to funkce, vyjadřující pravděpodobnost, že náhodná veličina **T** nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu **dt**.
- spojitá náhodná veličina se značí  $f(t)$ , diskrétní náhodná veličina  $p(x_i)$ . [6]



Obr. 4 – Hustota pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny [6]

Hustota pravděpodobnosti:

- je nezáporná,  $f(t) \geq 0$
- velikost plochy pod křivkou se rovná jedné... $\int f(t)dt = 1$  (1)
- pravděpodobnost, že náhodná veličina **T** nabude hodnoty z intervalu  $< t_1, t_2 >$  je:  
 $P(t_1 < T \leq t_2) = \int f(t)dt$ . [6] (2)



Obr. 5 – Hustota pravděpodobnosti diskrétní náhodné veličiny [6]

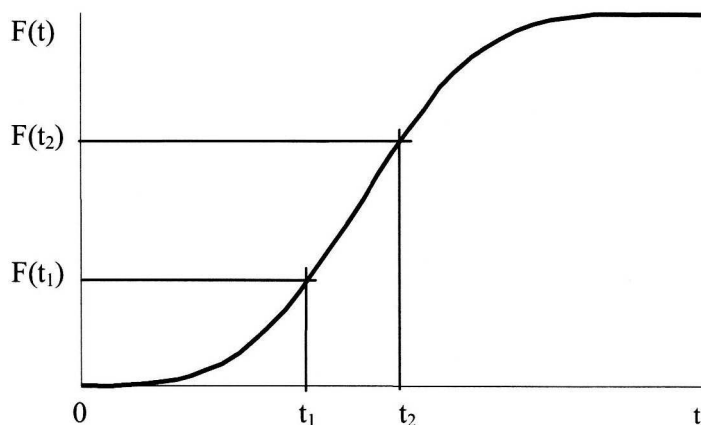
- distribuční funkce – je pravděpodobnost, že náhodná veličina **T** nabude hodnoty menší nebo rovné, než je hodnota **t**.

- pro spojitou náhodnou veličinu je definována vztahem:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int f(t)dt \quad (3)$$

- pro diskrétní náhodnou veličinu:

$$F(X \leq a) = p(x_1) + p(x_2) + \dots + p(a) = \sum p(x_i). \quad [6] \quad (4)$$

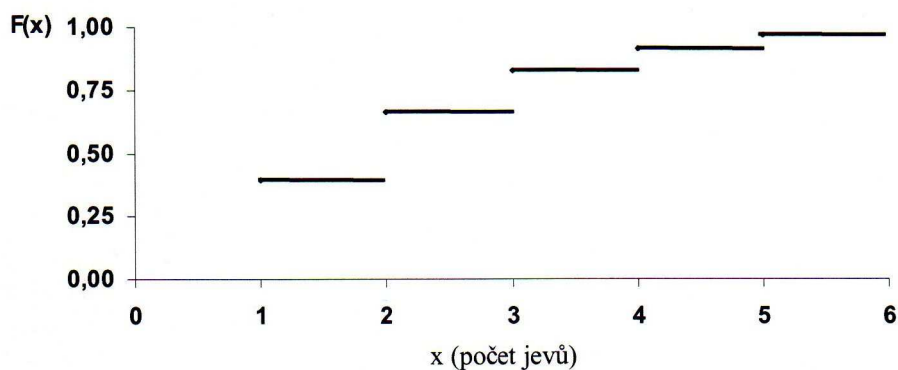


Obr. 6 – Distribuční funkce spojité náhodné veličiny [6]

Distribuční funkce:

- je nezáporná, nabývá hodnoty z intervalu  $<0, 1>$ .
- je neklesající,  $F(t_2) \geq F(t_1)$  pro všechna  $t_2 \geq t_1$ .
- mezi hustotou pravděpodobnosti a distribuční funkcí je vztah:  $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$  (5)

za předpokladu, že existuje derivace **F(t)** podle **t**. [6]



Obr. 7 – Distribuční funkce diskrétní náhodné veličiny [6]

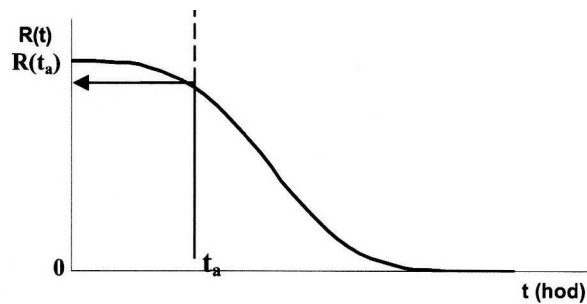


- pravděpodobnost bezporuchového provozu – je to doplněk distribuční funkce  $F(t)$  do jedničky.

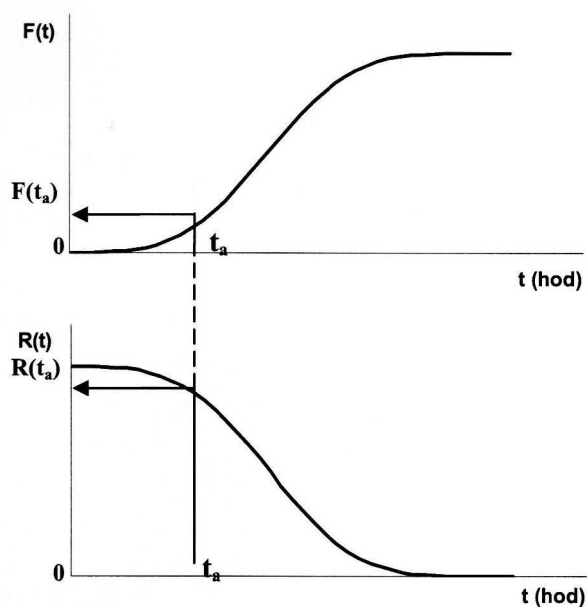
- označuje se  $R(t)$ , je dána vztahem

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (6)$$

$$R(t) + F(t) = 1 \quad [6] \quad (7)$$



Obr. 8 – Pravděpodobnost bezporuchového provozu [6]



Obr. 9 – Vzájemný vztah  $F(t)$  a  $R(t)$  [6]

- intenzita poruch náhodné veličiny – je to podmíněná pravděpodobnost, že jev nastane za nekonečně malý okamžik  $dt$  za podmínky, že do okamžiku  $t$  jev nenastal. [6]

- intenzitu poruch vyjádříme ze vztahu:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (8)$$

kde:

$\lambda(t)$  – intenzita poruch [ $\text{hod}^{-1}$ ],

$f(t)$  – hustota pravděpodobnosti poruchy [-],

$R(t)$  – pravděpodobnost bezporuchového provozu[-].

- má rozměr  $1 \cdot \text{hod}^{-1}$ ,  $1 \cdot \text{km}^{-1}$

Z každé ze základních veličin  $R(t)$ ,  $F(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  je možné odvodit tři zbývající.

## 2.2. Nástroje pro hodnocení provozní spolehlivosti

K základním statistickým nástrojům pro hodnocení provozní spolehlivosti patří:

### 2.2.1 Histogram četností

Je často používaný prostředek pro zobrazení průběhu náhodné veličiny, ke znázornění rozdělení absolutních nebo relativních četností spojitého znaku, např. doby do poruchy vozidla. Je to sloupcový graf, který má vertikální sloupce, jejichž výška odpovídá četnosti (absolutní nebo relativní). Stupnice na vodorovné ose grafu je vždy ve stejných jednotkách (hod., km,...). Šířka každého sloupce je úměrná šířce třídy posuzované veličiny. Počet tříd histogramu je 3 až 15 a jejich šířka se určí z následujícího vztahu:

$$\Delta L = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} \quad (9)$$

Kde:

$\Delta L$  - šířka třídy [km],

$l_{\max}$  – maximální hodnota počtu kilometrů [km],

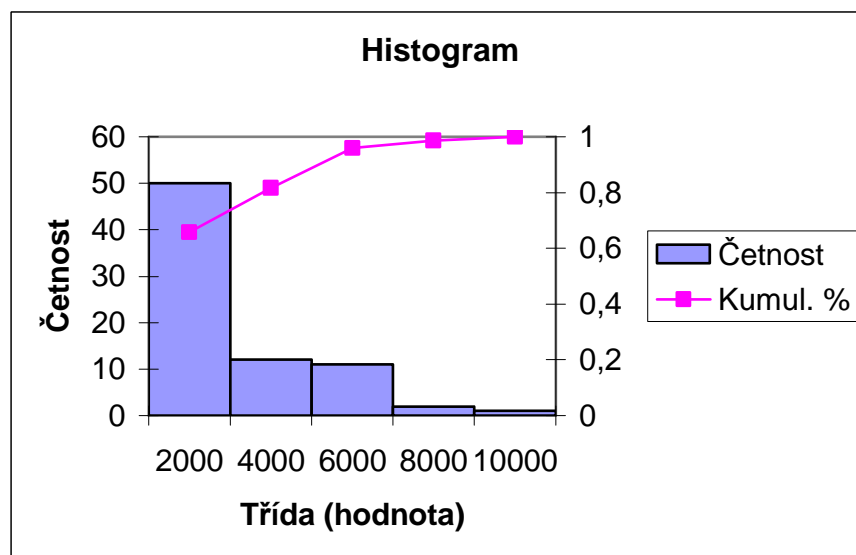
$l_{\min}$  – minimální hodnota počtu kilometrů [km],

$N$  – celkový počet poruch [-]. [6]

Histogram relativní četnosti

Tab. 4 – Hodnoty relativních četností [1]

P.č.třídy	Třída (hodnota)	Četnost	Relativní četnost	Kumul.%
1	2000	50	0,657894737	81,33%
2	4000	12	0,157894737	96,00%
3	6000	11	0,144736842	98,67%
4	8000	2	0,026315789	100,00%
5	10000	1	0,013157895	100,00%
$\Sigma$		76	1	

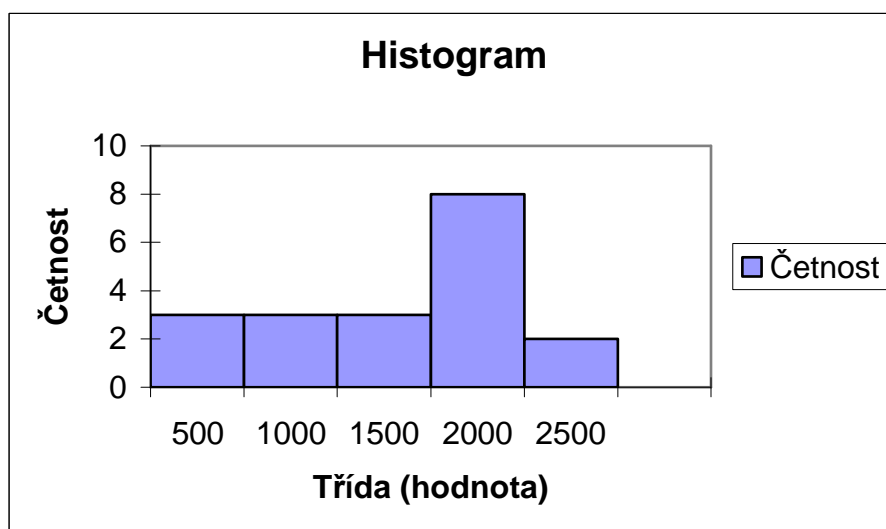


Obr.10 – Histogram relativní četnosti [1]

Histogram absolutní četnosti

Tab. 5 – Hodnoty absolutních četností [1]

P.č.třídý	Třída	Absol.četnost
1	500	3
2	1000	3
3	1500	3
4	2000	8
5	2500	2
$\Sigma$		19



Obr.11 – Histogram absolutní četnosti [1]

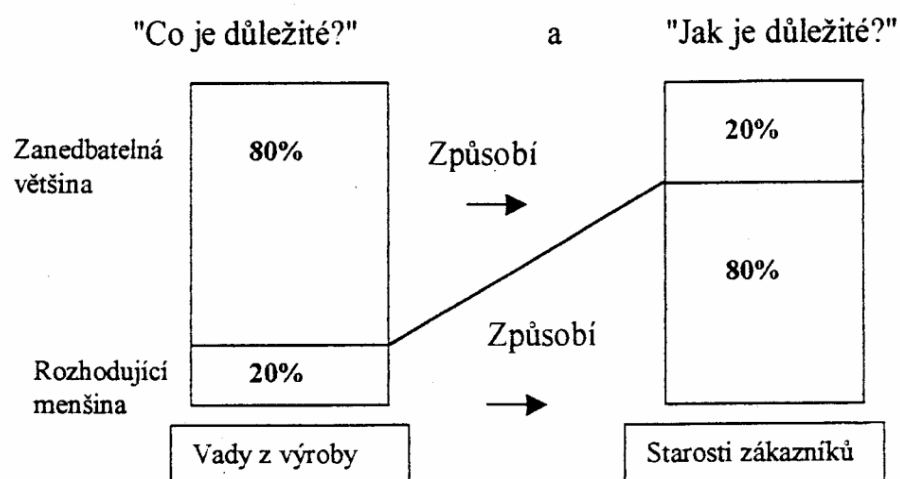
### 2.2.2 Paretova analýza

Tato metoda umožňuje proniknout do podstaty jevů, odlišit podstatné od méně podstatných, určit hlavní nositele problémů a vymezit směr pro hledání nápravných opatření.

Základ metody vychází z platných skutečností, že u většiny jevů, na jejichž vzniku se podílí velký počet vzájemně více či méně propojených faktorů, lze sledovat několik málo činitelů, které tyto jevy ovlivňují. Tyto faktory jsou „životně důležité“, kdežto ostatní, které tvoří většinu faktorů, se pokládají z hlediska jejich působení na celkový efekt zkoumaného jevu za „nevýznamné“.

„Životně důležité“ činitele vyšetřujeme jednotlivě a podrobně, skupinu „nevýznamných“ faktorů zkoumáme jako celek. Přejít mezi těmito skupinami tvoří tzv. zvláštní zóna, z níž se postupně během analýzy řadí některé prvky do „životně důležitých“, ostatní do „nevýznamných“ faktorů [11].

*Paretovy diagramy odpovídají na otázky :*



Obr. 12 – Princip Paretovy analýzy [11]

Z této analýzy vyplývá, že 20% tzv. „životně důležitých“ činitelů ovlivňuje následek z 80% a 80% tzv. „nevýznamných“ činitelů následek ovlivňuje pouze z 20%.

### 2.2.3 Weibullovo rozdělení

Ve spolehlivosti se pro modelování průběhu náhodné veličiny často používá Weibullovo rozdělení. Je velmi variabilní, čehož se s výhodou využívá při posuzování bezporuchovosti technických objektů. Změnou parametru tvaru nahrazuje jiné zákony rozdělení, např. exponenciální ( $m = 1$ ), Rayleighovo rozdělení ( $m = 2$ ) a aproximuje normální rozdělení ( $m = 3,5$ ). Pracujeme tak s jedním tvarem rovnic, nemusíme používat rovnice pro další typy rozdělení, a to je výhodné při numerických výpočtech v tabulkových procesorech.

Původně bylo odvozeno profesorem Weibullem jako tříparametrické, ale pro běžné výpočty se vztahy zjednodušují převedením na dvouparametrické položením parametru polohy  $c = 0$ . [6]

$$\text{Distribuční funkce } F(l) \text{ je dána vztahem: } F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m} \quad (10)$$

Kde:

$F(l)$  – distribuční funkce,

$e$  – Eulerovo číslo (též základ přirozených logaritmů),  $e \approx 2,71$ ,

$l$  – počet ujetých kilometrů,  $l \geq 0$ ,

$l_0$  – parametr měřítka,

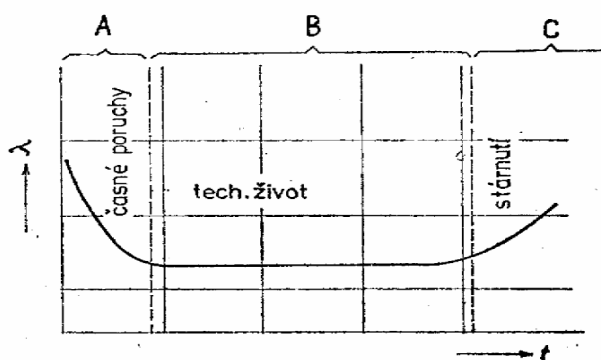
$m$  – parametr tvaru,  $m > 0$ .

Pro stanovení etapy doby života, ve které se výrobek při analýze poruchovosti nachází, má rozhodující význam právě parametr  $m$ , protože charakterizuje příslušnou část vanové křivky: [6]

$m < 1 \quad \Rightarrow \text{část A - etapa uvádění do provozu}$

$m \approx 1 \quad \Rightarrow \text{část B - etapa ustáleného provozu}$

$m > 1 \quad \Rightarrow \text{část C - etapa dožívání} \quad [6].$



Obr.13 – Vanová křivka [11]

Část A – období časných poruch, které vznikly následkem chyb v konstrukci a při výrobě.

Intenzita poruch postupně klesá, spolehlivost se zlepšuje.

Část B – období ustáleného provozu, intenzita poruch se ustálí přibližně na konstantní hodnotě, poruchy vznikají působením náhodných událostí. Je to nejdelší období života.

Část C – období dožívání a následné likvidace. Vlivem opotřebení intenzita poruch začne stoupat, po dosažení jistého okamžiku, kdy se ekonomicky a technicky nevyplatí další provoz, je vozidlo fyzicky zlikvidováno [6].

### **Odhad parametru Weibullova rozdělení s využitím lineární regrese [6]:**

distribuční funkce  $F(l)$ :

$$F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$1 - F(l) = e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$\ln(1 - F(l)) = -\left(\frac{l}{l_0}\right)^m$$

$$\ln(\ln(1 - F(l))) = m \cdot \ln\left(-\frac{1}{l_0}\right)$$

$$\ln(\ln(1 - F(l))) = m \cdot \ln l + m \cdot \ln l_0$$

$$\underline{\ln(-\ln(1 - F(l))) = m \cdot \ln l - m \cdot \ln l_0}$$

rovnice přímky: (11)

$$\underline{y = k \cdot x + q}$$

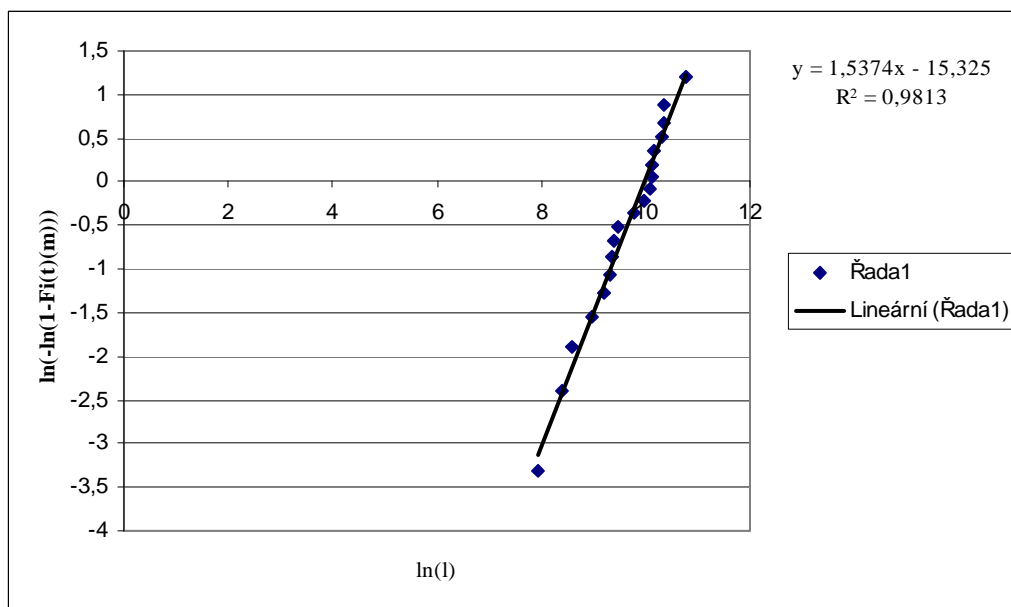
substituce:

$$y = \ln(-\ln(1 - F(l))) \quad (12)$$

$$k \cdot x = m \cdot \ln l \quad (13)$$

$$q = -m \cdot \ln l_0 \quad (14)$$

$$\Rightarrow \underline{l_0 = e^{-\left(\frac{q}{m}\right)}} \quad (15)$$



Obr.14 – Parametry rovnice přímky [2]

Kde:

$y = 1,5374x - 15,325$  je rovnice přímky, z níž se vyjadřuje: parametr  $m = 1,5374$

hodnota  $q = -15,325$

$R^2 = 0,9813$  je koeficient determinace, který porovnává skutečné hodnoty  $y$  a jejich odhady.

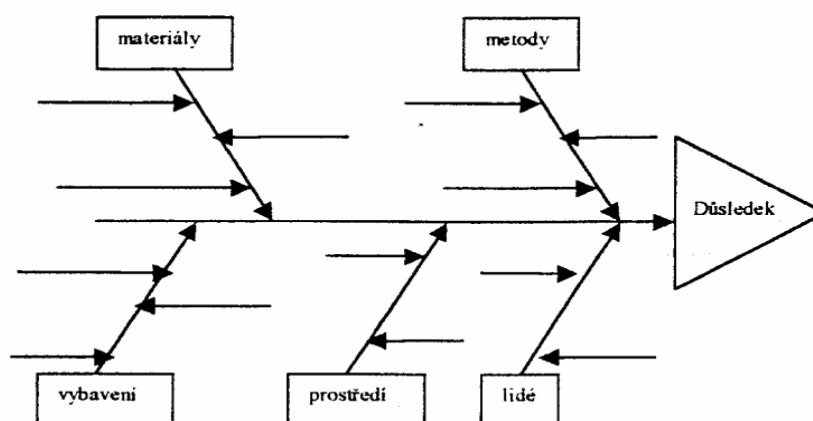
Nabývá hodnot od 0 do 1. [6]



#### 2.2.4 Diagram příčin a následků

Ishikawův diagram příčin a následků, ve tvaru rybí kosti, je velmi vhodným metodickým nástrojem. Zde je pro konkrétní proces zachycena posloupnost nejen příčinné souvislosti při vzniku jakostních vlastností fyzikálně-chemického charakteru, ale také mechanismus vzniku nákladů spojených s jakostí. Je zde možno vyhledat kritické faktory a vymezit správnou hierarchii při řešení problémů.

Tento nástroj je zahrnut do terminologie řízení jakosti v japonských průmyslových normách. Použití Ishikawova diagramu čerpá z výsledků Paretovy analýzy [11]. Konstrukce diagramu je na Obr. 15



Obr. 15 – Ishikawův diagram příčin a následků [11]

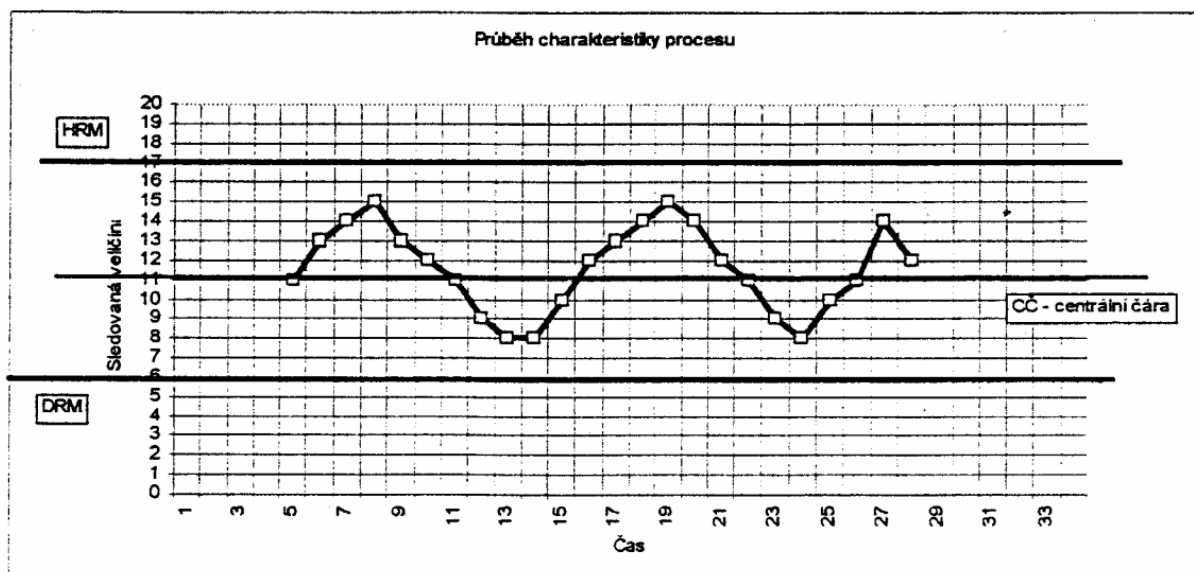
#### 2.2.5 Statistická regulace

Podstata spočívá v bezprostřední a průběžné kontrole jakosti výrobního procesu a je založená na matematicko-statistickém hodnocení jakosti výrobků. Regulace dává podněty k operativním zásahům do výroby a umožňuje nevyhovující jakost okamžitě zlepšovat, a také jí předcházet.

Po kontrole ve výrobním procesu se vypočítávají statistické výběrové ukazatele a podle jejich hodnot se usuzuje, zda ve výrobě nenastaly změny, které mají dopad na dosavadní jakost výroby a zda ohrožují požadovanou jakost výrobků.

Prostředkem této regulace jsou regulační diagramy, kde se na vodorovnou osu vynášejí pořadová čísla a čas kontrolních výběrů, na svislou osu pak hodnoty statistických výběrových ukazatelů a sledované jakostní vlastnosti vypočtené z každého kontrolního výběru. Když statistický výběrový ukazatel překročí předem stanovené meze, znamená to, že je porušena

požadovaná, případně i dosahovaná jakost, a tím pádem je nutno zpřísnit kontrolu nebo zasáhnout do výrobního procesu [11].



Obr. 16 - Regulační diagram [11]

### 3. Provedení odhadů spolehlivostních charakteristik vozidel s využitím empirických dat

#### 3.1 Histogramy četností poruch elektrických obvodů vozidla 150.026 – 3

K vytvoření histogramu potřebuji znát jeho šířku třídy, která se vypočítá dle vzorce (9).

Vozidlo 150.026 – 3, u kterého byla ve dnech 28.12.1999, 4.2.2000, 10.2.2000, 24.3.2000, 25.4.2000, 9.5.2000, 18.5.2000, 27.5.2000, 19.6.2000, 26.7.2000, 31.8.2000 a 14.12.2000 stažena poruchová data, má dle předpisu ČD V 25 (Tab. 6) normu pro přístavení do provozního ošetření 2500 až 4500 km. Vozidlo bylo ke každému výše uvedenému provoznímu ošetření přistaveno po ujetí 3000 km.

Tab. 6 - Normy km proběhů pro přístavbu ŽKV do provozních ošetření, periodických prohlídek a periodických oprav, Příloha č. 1 [3]

Řada HKV	E 0	E M	E V	E VY	E H	E G
451, 452	4,5 6,5	10 15	90	360	720 <sup>1/</sup>	2500
460	5,0 7,5					
560	3,0 5,0					
100, 110, 111, 113 121, 122, 123, 140, 141 180, 181, 182, 209, 210	1,3 2,5	16 20	150	450	800 <sup>2/</sup>	
130 <b>150, 151</b>	<b>2,5</b> <b>4,5</b>	20 26	200	550	1100	
230, 240, 242		17 26	180	550	1100	
162, 163, 263, 362, 363 <sup>3/</sup>	2200					
371, 372	4,5 6,5			600	1200	
470		20 26	200	400	800	

Uváděné hodnoty jsou v 1000 km.

## Upřesnění:

- <sup>1/</sup> - Pokud nebude prováděna EVY, je km proběh 360.
- <sup>2/</sup> - Pokud nebude prováděna EVY, je km proběh 450.
- <sup>3/</sup> - U lokomotiv s upravenými ložisky kardanových křížů se doporučuje km proběh do periodické opravy podle elektrických lokomotiv řady 371, 372.

Pro vytvoření histogramu četností poruch zařadím všechny možné poruchy, které mohou v elektrických obvodech vozidla nastat (Příloha A) do tří skupin:

### 1) trakční obvody - porucha linkového stykače S1, S2, S3, S4, S5,

- porucha stykače S8, S9, S18, S19, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S20, S21, S22, S23, S24, S25, S31, S32, S33, S34, S41, S42, S43, S44,
- porucha brzdového stykače S46, S47, S48,
- porucha přepojovače V4, V5, V6 v jízdě,
- rozpad linkových stykačů v brzdě,
- porucha přepojovače V4, V5, V6 v brzdě,
- odpad B29 za EDB v brzdě,
- zásah obrany EDB v brzdě.

### 2) pomocné pohony - porucha ventilačního relé ventilátoru 1, 2,

- generální porucha pomocných pohonů,
- porucha kompresoru 1, 2,
- porucha ventilátorů,
- zásah termostatu šroubového kompresoru,

### 3) řídicí obvody - porucha čidla 1., 2., 3. a 4. nápravy,

- výpadek zdroje +15 V, -15 V, +5 V,
- chyba bloku rychlosti,
- chyba bloku CPU 1, CPU 2,
- chyba měření  $I_k$ ,  $U_b$ .

Vzhledem k tomu, že výše uvedená lokomotiva 150.026 – 3 fungovala jako záložní, nejezdila pravidelně, byla nashromážděna data v rozmezí asi jednoho roku v různých časových intervalech – 28.12.1999, 4.2.2000, 10.2.2000, 24.3.2000, 25.4.2000, 9.5.2000, 18.5.2000, 27.5.2000, 19.6.2000, 26.7.2000, 31.8.2000 a 14.12.2000.

Ke každému výše uvedenému dni pracovníci DKV Praha stahovali poruchová data elektrických obvodů lokomotivy, která využiji k vytvoření histogramu četností poruch jednotlivých skupin.

Tab. 7 – Zjištěné poruchy elektrických obvodů vozidla

<b>po 3000 km...28.12.1999</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S1	1	1)
Porucha linkového stykače S2	1	1)
Porucha linkového stykače S3	1	1)
Porucha linkového stykače S4	1	1)
Porucha linkového stykače S5	1	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	1	1)
Porucha přepojovače V5 v jízdě	2	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	2	2)
Porucha ventilátorů	3	2)
Chyba měření Ik	2	3)

<b>po 6000 km...4.2.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S1	2	1)
Porucha stykače S8	1	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	1	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	3	2)
Chyba měření Ik	3	3)

<b>po 9000 km...10.2.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S2	2	1)
Porucha linkového stykače S3	2	1)
Porucha přepojovače V4 v brzdě	1	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	2	2)
Porucha kompresoru 1	1	2)
Chyba měření Ik	1	3)

<b>po 12000 km...24.3.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha ventilačního relé vent.1	2	2)
Chyba měření Ik	9	3)

<b>po 15000 km...25.4.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S2	1	1)
Porucha stykače S8	4	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	3	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	6	2)
Porucha ventilátorů	1	2)
Chyba měření Ik	23	3)

<b>po 18000 km...9.5.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha ventilačního relé vent.1	3	2)
Porucha kompresoru 1	1	2)
Chyba měření Ik	9	3)

<b>po 21000 km...18.5.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S1	18	1)
Porucha linkového stykače S2	5	1)
Porucha linkového stykače S3	4	1)
Porucha linkového stykače S4	2	1)
Porucha linkového stykače S5	2	1)
Porucha stykače S8	1	1)
Porucha stykače S33	1	1)
Porucha stykače S41	11	1)
Porucha stykače S42	9	1)
Porucha stykače S43	2	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	2	1)
Rozpad linkových stykačů v brzdě	1	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	1	2)
Porucha kompresoru 2	25	2)
Chyba měření Ik	38	3)

<b>po 24000 km...27.5.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S3	5	1)
Porucha stykače S8	2	1)
Porucha stykače S43	1	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	2	1)
Chyba měření Ik	6	3)

<b>po 27000 km...19.6.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S5	1	1)
Zásah obrany EDB v brzdě	1	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	2	2)
Porucha kompresoru 1	14	2)
Porucha ventilátorů	1	2)

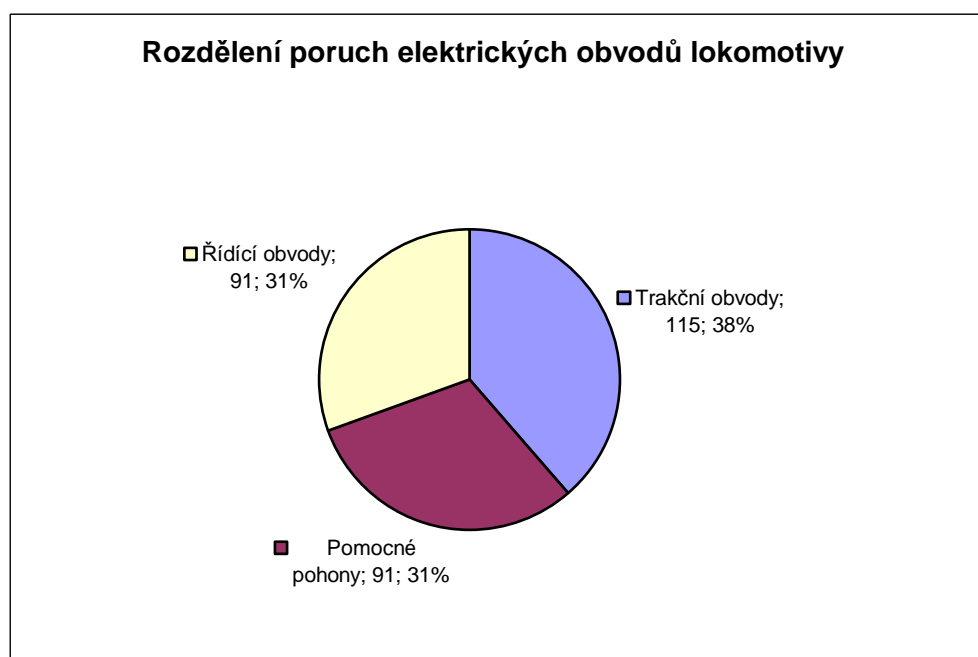
<b>po 30000km...26.7.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha stykače S8	1	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	1	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	5	2)

<b>po 33000 km...31.8.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha linkového stykače S3	1	1)
Porucha stykače S8	4	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	4	1)
Porucha přepojovače V6 v jízdě	1	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	6	2)

<b>po 36000 km...14.12.2000</b>	<b>četnost</b>	<b>skupina poruch</b>
Porucha stykače S8	2	1)
Porucha přepojovače V4 v jízdě	4	1)
Zásah obrany EDB v brzdě	2	1)
Porucha ventilačního relé vent.1	10	2)
Porucha kompresoru 1	1	2)
Porucha kompresoru 2	1	2)
Porucha ventilátorů	1	2)

Tab.8 – Počty poruch elektrických obvodů lokomotivy

km proběh	Trakční obvody	Pomocné pohony	Řídící obvody
3000	8	5	2
6000	4	3	3
9000	5	3	1
12000	0	2	9
15000	8	7	23
18000	0	4	9
21000	58	26	38
24000	10	0	6
27000	2	17	0
30000	2	5	0
33000	10	6	0
36000	8	13	0
Σ	115	91	91



Obr.17 – Rozdělení poruch elektrických obvodů lokomotivy 150.026 - 3

Z obrázku 17 je patrné, že nejvíce poruch (115) v elektrických obvodech lokomotivy nastalo ve skupině trakčních obvodů. Pomocné pohony a řídící obvody potom byly méně problematické, u každé z těchto skupin nastalo shodně 91 poruch.



### Histogram četností poruch trakčních obvodů vozidla

- výpočet šířky třídy, dle vzorce (9):

$$\Delta L = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N}$$

$$\Delta L = \frac{36000 - 3000}{1 + 3,3 \cdot \log 10}$$

$$\Delta L = 7674,42 \text{ km}$$

⇒ volím šířku třídy histogramu **8500 km**

Kde:

$\Delta L$  - šířka třídy histogramu [km],

$l_{\max}$  – maximální kilometrický proběh [km],

$l_{\min}$  – minimální kilometrický proběh [km],

$N$  – počet provozních ošetření, při kterých se vyskytly poruchy [-].

Tab. 9 – Tabulka četností poruch trakčních obvodů

km proběh	Počet poruch
0	0
3000	8
6000	4
9000	5
12000	0
15000	8
18000	0
21000	58
24000	10
27000	2
30000	2
33000	10
36000	8

Tab. 10 – Data pro sestavení histogramu četností poruch trakčních obvodů

Třída (km)	Četnost	Kumulativní četnost	Kumulativní relativní četnost
8500	12	12	0,10
17000	13	25	0,22
25500	68	93	0,81
34000	14	107	0,93
42500	8	115	1,00

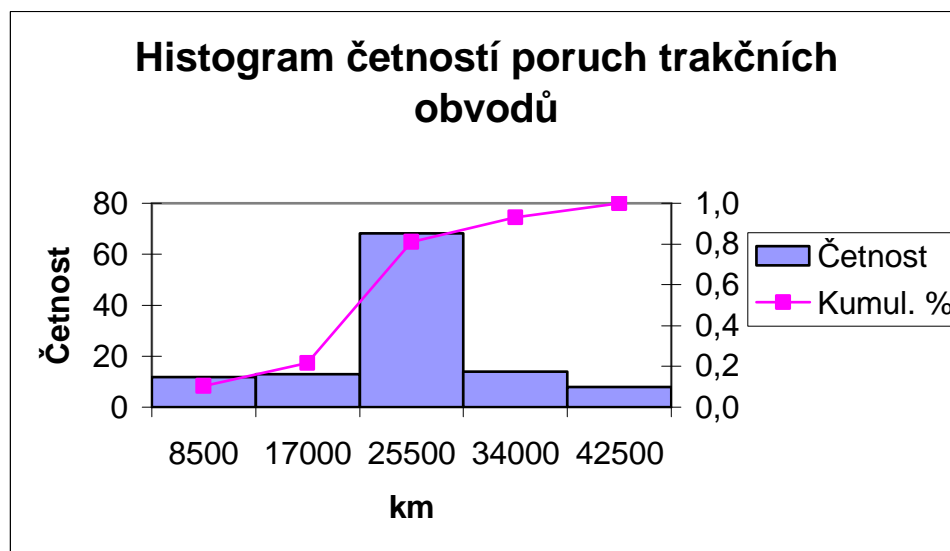
$$\text{Kumulativní relativní četnost stanovím: } X_i = \frac{r_i}{N} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Kde:

$r_i$  – četnost poruch  $i$  – té třídy,

$N$  – celkový počet poruch trakčních obvodů,

$n$  – celkový počet tříd.



Obr.18 – Histogram četností poruch trakčních obvodů

V trakčních obvodech vozidla bylo zjištěno nejvíce poruch (58), dle tabulky 9, při provozním ošetření dne 18.5.2000, po ujetí 21000 km. Naopak nejméně poruch, žádnou, zjistili zaměstnanci DKV Praha 24.3.2000 a 9.5.2000, po ujetí 12000, respektive 18000 km.

#### Histogram četností poruch pomocných pohonů vozidla

- výpočet šířky třídy, dle vzorce (9):

$$\Delta L = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N}$$

$$\Delta L = \frac{36000 - 3000}{1 + 3,3 \cdot \log 11}$$

$$\Delta L = 7438,14 \text{ km}$$

⇒ volím šířku třídy histogramu **8500 km**

Kde:

$\Delta L$  - šířka třídy histogramu [km],

$l_{\max}$  – maximální kilometrický proběh [km],

$l_{\min}$  – minimální kilometrický proběh [km],

$N$  – počet provozních ošetření, při kterých se vyskytly poruchy [-].

Tab. 11 – Tabulka četností poruch pomocných pohonů

km proběh	Počet poruch
0	0
3000	5
6000	3
9000	3
12000	2
15000	7
18000	4
21000	26
24000	0
27000	17
30000	5
33000	6
36000	13

Tab. 12 – Data pro sestavení histogramu četností poruch pomocných pohonů

Třída (km)	Četnost	Kumulativní četnost	Kumulativní relativní četnost
8500	8	8	0,09
17000	12	20	0,22
25500	30	50	0,55
34000	28	78	0,86
42500	13	91	1,00

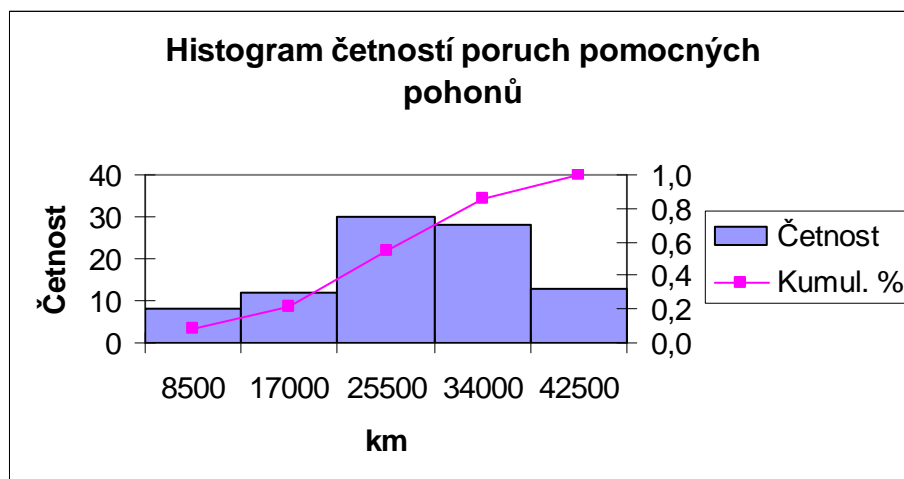
$$\text{Kumulativní relativní četnost stanovím: } X_i = \frac{r_i}{N} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Kde:

$r_i$  – četnost poruch  $i$  – té třídy,

$N$  – celkový počet poruch ve skupině pomocných pohonů,

$n$  – celkový počet tříd.



Obr.19 – Histogram četností poruch pomocných pohonů

U pomocných pohonů se nejvíce poruch (26) naskytlo, stejně jako u trakčních obvodů, dne 18.5.2000, po ujetí 21000km. Nejméně poruch, žádná, hned při dalším provozním ošetření, 27.5.2000, po ujetí 24000 km.

#### Histogram četností poruch řídicích obvodů vozidla

- výpočet šířky třídy, dle vzorce (9):

$$\Delta L = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N}$$

$$\Delta L = \frac{24000 - 3000}{1 + 3,3 \cdot \log 8}$$

$$\Delta L = 5276,12 \text{ km}$$

⇒ volím šířku třídy histogramu **5500 km**

Kde:

$\Delta L$  - šířka třídy histogramu [km],

$l_{\max}$  – maximální kilometrický proběh [km],

$l_{\min}$  – minimální kilometrický proběh [km],

$N$  – počet provozních ošetření, při kterých se vyskytly poruchy [-].

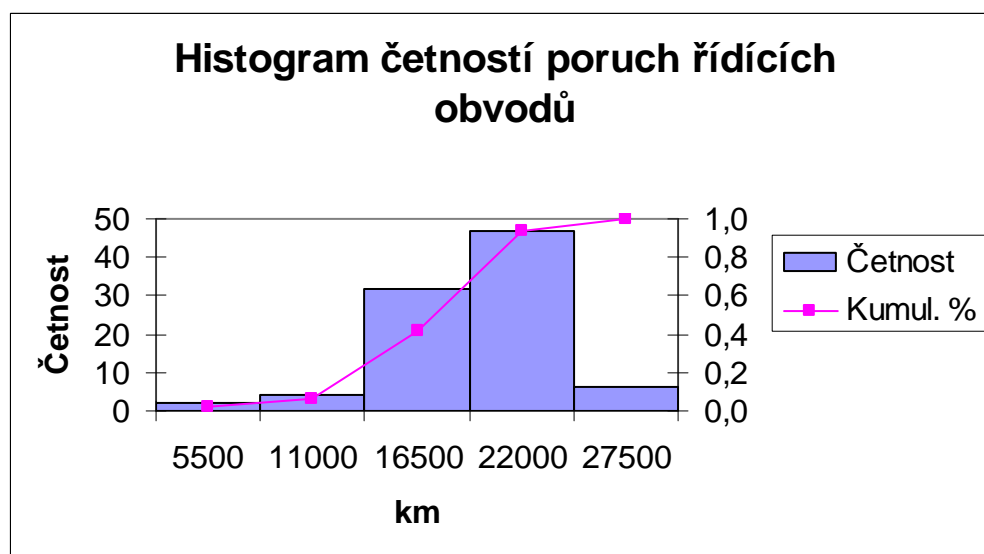
Tab. 13 – Tabulka četností poruch řídicích obvodů

km proběh	Počet poruch
0	0
3000	2
6000	3
9000	1
12000	9
15000	23
18000	9
21000	38
24000	6
27000	0
30000	0
33000	0
36000	0

Tab. 14 - Data pro sestavení histogramu četností poruch řídicích obvodů

Třída (km)	Četnost	Kumulativní četnost	Kumulativní relativní četnost
5500	2	2	0,02
11000	4	6	0,07
16500	32	38	0,42
22000	47	85	0,93
27500	6	91	1,00

Kumulativní relativní četnost stanovím dle vzorce (16).



Obr.20 – Histogram četností poruch řídicích obvodů

U poslední, třetí skupiny (řídících obvodů), došlo k největšímu výskytu poruch (38), stejně jako v obou předchozích případech (trakční obvody a pomocné pohony), dne 18.5.2000, po ujetí 21000 km. Žádná porucha se nevyskytla ve dnech 19.6.2000 po 27000 km, 26.7.2000 po 30000 km, dále 31.8.2000 po 33000 km a 14.12.2000 po 36000 km.

U všech tří skupin elektrických obvodů, tj. trakční obvody, pomocné pohony a řídící obvody, z tvaru histogramu četností usuzují, že každá skupina má Weibullovo rozdělení.

### 3.2 Weibullovo rozdělení poruch elektrických obvodů lokomotivy 150.026 - 3

Weibullovo rozdělení je určeno **parametry**:

$l_0$  – parametr měřítka,  $l_0 > 0$

$m$  – parametr tvaru,  $m > 0$

a **charakteristikami**:

Hustota pravděpodobnosti poruchy –  $f(l)$

$$\text{- u Weibullova rozdělení je dána vztahem: } f(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m} \quad (17)$$

Distribuční funkce –  $F(l)$

$$\text{- u Weibullova rozdělení je dána vztahem: } F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m} \quad (18)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu –  $R(l)$

$$\text{- u Weibullova rozdělení je dána vztahem: } R(l) = e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m} \quad (19)$$

Intenzita poruch –  $\lambda(l)$

$$\text{- u Weibullova rozdělení je dána vztahem: } \lambda(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} \quad [5]. \quad (20)$$

## Počtení část:

### Weibullovo rozdělení poruch trakčních obvodů lokomotivy

Tab. 15 – Data pro sestavení grafu s parametry rovnice přímky

l(km)	ln(l)	ni	Fi(l)(m)	ln(-ln(1-Fi(l)(m)))
3000	8,006367568	1	0,067308	-2,663843085
6000	8,699514748	2	0,163462	-1,72326315
9000	9,104979856	3	0,259615	-1,202023115
15000	9,61580548	4	0,355769	-0,821666515
21000	9,952277717	5	0,451923	-0,508595394
24000	10,08580911	6	0,548077	-0,230365445
27000	10,20359214	7	0,644231	0,032924962
30000	10,30895266	8	0,740385	0,299032932
33000	10,40426284	9	0,836538	0,593977217
36000	10,49127422	10	0,932692	0,992688929

Kde:

l – kilometrický proběh lokomotivy do provozního ošetření, při kterém byla v trakčních obvodech zaznamenána porucha [km],

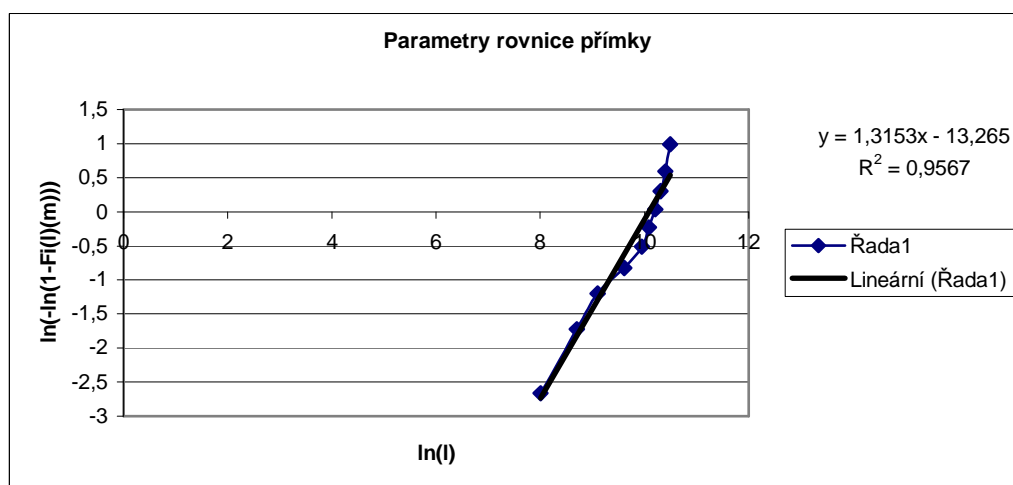
ln(l) – přirozený logaritmus hodnoty kilometrického proběhu,

ni – pořadové číslo kilometrického proběhu, při kterém byla zaznamenána porucha,

Fi(l)(m) – mediánové pořadí,

$$Fi(l)(m) = \frac{ni - 0,3}{N + 0,4} \quad (21)$$

N – celkový počet provozních ošetření, při nichž byla zaznamenána porucha, N = 10.



Obr.21 – Parametry rovnice přímky

Z rovnice přímky v obrázku 21 vyčtu hodnoty:  $m = 1,3153$

$$q = -13,265$$

$R^2$  je koeficient determinace, který porovnává skutečné hodnoty  $y$  a jejich odhady [6].

dosazením těchto dvou hodnot do rovnice  $l_0 = e^{-\frac{q}{m}}$  zjistím hodnotu  $l_0$ , což je parametr měřítka:

$$l_0 = e^{-\frac{q}{m}}$$

$$l_0 = e^{-\frac{-13,265}{1,3153}}$$

$$\underline{\underline{l_0 = 23984,23 \text{ km}}}$$
(22)

dále vypočítám střední hodnotu  $L_s$ :

$$L_s = l_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

$$L_s = 23984,23 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,3153}\right)$$

$$\underline{\underline{L_s = 22100,06 \text{ km}}}$$
(23)

Kde:

$\Gamma$  - neúplná Eulerova gama funkce (tabelovaná)

Tab.16 – Data pro určení hustoty pravděpodobnosti, distribuční funkce, pravděpodobnosti bezporuchového provozu a intenzity poruch **trakčních obvodů lokomotivy 150.026 - 3:**

$l$ (km)	$f(l)$	$F(l)$	$R(l)$	$\lambda(l)$
0,01	5,3396E-07	4,0596E-09	0,999999996	5,3396E-07
5000	2,94558E-05	0,119404249	0,880595751	3,34498E-05
10000	3,03307E-05	0,271257188	0,728742812	4,16206E-05
15000	2,75791E-05	0,416891557	0,583108443	4,72966E-05
20000	2,35632E-05	0,545000931	0,454999069	5,17873E-05
25000	1,93256E-05	0,652181196	0,347818804	5,55621E-05
30000	1,53746E-05	0,738749178	0,261250822	5,88498E-05
35000	1,19366E-05	0,806790366	0,193209634	6,17807E-05
40000	9,07995E-06	0,859088895	0,140911105	6,44374E-05
45000	6,78586E-06	0,898529785	0,101470215	6,68754E-05
50000	4,99266E-06	0,927783173	0,072216827	6,91343E-05
55000	3,62197E-06	0,949160617	0,050839383	7,12434E-05
60000	2,59408E-06	0,964573825	0,035426175	7,3225E-05
65000	1,83606E-06	0,975550636	0,024449364	7,50966E-05
70000	1,28535E-06	0,983279336	0,016720664	7,6872E-05
75000	8,90622E-07	0,988663519	0,011336481	7,85625E-05
80000	6,11179E-07	0,992377183	0,007622817	8,01776E-05



Kde:

$l$  – kilometrický proběh vozidla zvolený tak, aby zahrnoval všechny proběhy do provozního ošetření [km],

$f(l)$  – hustota pravděpodobnosti poruchy [-],

$F(l)$  – distribuční funkce [-],

$R(l)$  – pravděpodobnost bezporuchového provozu [-],

$\lambda(l)$  – intenzita poruch [ $\text{km}^{-1}$ ].

*Příklad výpočtu hustoty pravděpodobnosti poruchy, distribuční funkce, bezporuchovosti a intenzity poruch pro proběh 5000 km:*

Hustota pravděpodobnosti poruchy:

$$f(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$f(5000) = \frac{1,3153}{23984,23} \cdot \left(\frac{5000}{23984,23}\right)^{1,3153-1} \cdot e^{-\left(\frac{5000}{23984,23}\right)^{1,3153}}$$

$$\underline{\underline{f(5000) = 2,95 \cdot 10^{-5}}}$$

Distribuční funkce:

$$F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$F(5000) = 1 - e^{-\left(\frac{5000}{23984,23}\right)^{1,3153}}$$

$$\underline{\underline{F(5000) = 0,12}}$$

Bezporuchovost:

$$R(l) = e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$R(5000) = e^{-\left(\frac{5000}{23984,23}\right)^{1,3153}}$$

$$\underline{\underline{R(5000) = 0,88}}$$

Intenzita poruch:

$$\lambda(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left( \frac{l}{l_0} \right)^{m-1}$$

$$\lambda(5000) = \frac{1,3153}{23984,23} \cdot \left( \frac{5000}{23984,23} \right)^{1,3153-1}$$

$$\lambda(5000) = 3,34 \cdot 10^{-5} \text{ km}^{-1}$$

Výsledky jsou zaokrouhlovány na 2 desetinná místa, po kontrole hodnot, které mi vyšly s tabulkou 16, vypočítanou pomocí Excelu, se výsledky shodují.

#### Weibullovo rozdělení poruch pomocných pohonů lokomotivy

Tab. 17 – Data pro sestavení grafu s parametry rovnice přímky

l(km)	ln(l)	ni	Fi(l)(m)	ln(-ln(1-Fi(l)(m)))
3000	8,006368	1	0,061404	-2,758770808
6000	8,699515	2	0,149123	-1,823327725
9000	9,10498	3	0,236842	-1,308258602
12000	9,392662	4	0,324561	-0,935491323
15000	9,615805	5	0,412281	-0,632041114
18000	9,798127	6	0,5	-0,366512921
21000	9,952278	7	0,587719	-0,120980941
27000	10,20359	8	0,675439	0,11803237
30000	10,30895	9	0,763158	0,364894181
33000	10,40426	10	0,850877	0,643423761
36000	10,49127	11	0,938596	1,026144924

Kde:

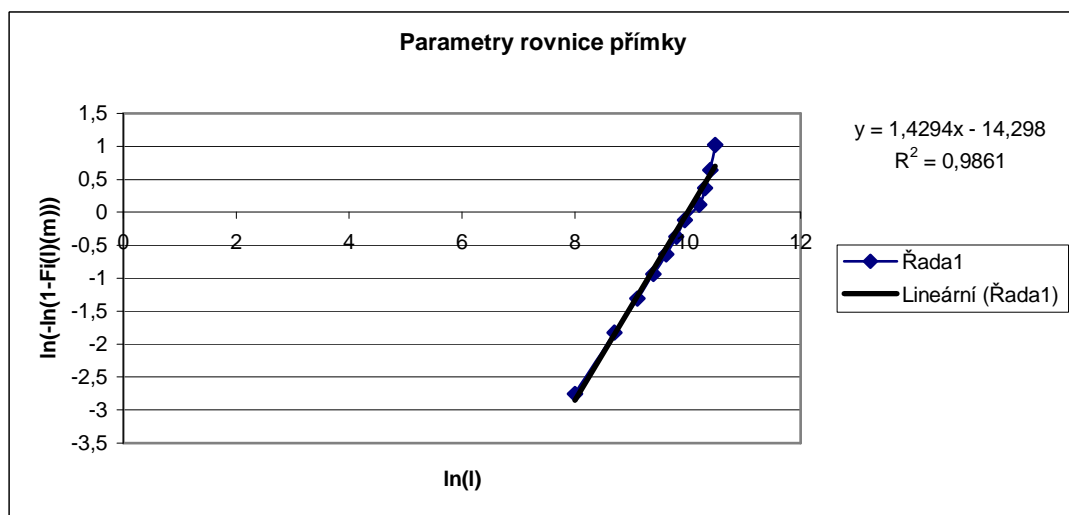
l – kilometrický proběh lokomotivy do provozního ošetření, při kterém byla v pomocných pohonech zaznamenána porucha [km],

ln (l) – přirozený logaritmus hodnoty kilometrického proběhu,

ni – pořadové číslo kilometrického proběhu, při kterém byla zaznamenána porucha [-],

Fi(l)(m) – mediánové pořadí, určí se ze vzorce (21),

N – celkový počet provozních ošetření, při nichž byla zaznamenána porucha, N = 11.



Obr.22 – Parametry rovnice přímky

Z rovnice přímky v obrázku 22 vyčtu hodnoty:  $m = 1,4294$

$$q = -14,298$$

Dle vzorce (22) určím parametr měřítka -  $l_0$

$$l_0 = e^{-\frac{q}{m}}$$

$$l_0 = e^{-\frac{-14,298}{1,4294}}$$

$$\underline{\underline{l_0 = 22088,19 \text{ km}}}$$

střední hodnota  $L_s$  je dána vztahem (23):

$$L_s = l_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

$$L_s = 22088,19 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,4294}\right)$$

$$\underline{\underline{L_s = 20068,49 \text{ km}}}$$

Kde:

$\Gamma$  - neúplná Eulerova gama funkce (tabelovaná)

Tab.18 – Data pro určení hustoty pravděpodobnosti poruchy, distribuční funkce, pravděpodobnosti bezporuchového provozu a intenzity poruch **pomocných pohonů lokomotivy 150.026 - 3:**

l (km)	f(l)	F(l)	R(l)	λ(l)
0,01	1,22E-07	8,54E-10	0,999999999	1,22127E-07
5000	3,03E-05	0,112733	0,887266957	3,41939E-05
10000	3,34E-05	0,27541	0,724589837	4,60481E-05
15000	3,08E-05	0,437366	0,562634463	5,48056E-05
20000	2,6E-05	0,580067	0,419932878	6,20117E-05
25000	2,07E-05	0,696884	0,30311626	6,82475E-05
30000	1,57E-05	0,787542	0,212457902	7,38052E-05
35000	1,14E-05	0,854975	0,145024989	7,88559E-05
40000	8,07E-06	0,903374	0,096625719	8,35095E-05
45000	5,53E-06	0,93705	0,06295031	8,78417E-05
50000	3,69E-06	0,95984	0,040160017	9,19071E-05
55000	2,41E-06	0,97488	0,025119662	9,57465E-05
60000	1,53E-06	0,984579	0,015421002	9,93915E-05
65000	9,57E-07	0,9907	0,009300031	0,000102867
70000	5,86E-07	0,994486	0,005514102	0,000106193
75000	3,52E-07	0,996783	0,003216546	0,000109386
80000	2,08E-07	0,998153	0,001847153	0,00011246

Kde:

l – kilometrický proběh vozidla zvolený tak, aby zahrnoval všechny proběhy do provozního ošetření [km],

f(l) – hustota pravděpodobnosti poruchy [-],

F(l) – distribuční funkce [-],

R(l) – pravděpodobnost bezporuchového provozu [-],

λ(l) – intenzita poruch [km<sup>-1</sup>].

*Příklad výpočtu hustoty pravděpodobnosti poruchy, distribuční funkce, bezporuchovosti a intenzity poruch pro proběh 5000 km:*

Hustota pravděpodobnosti poruchy:

$$f(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left( \frac{l}{l_0} \right)^{m-1} \cdot e^{-\left( \frac{l}{l_0} \right)^m}$$

$$f(5000) = \frac{1,4294}{22088,19} \cdot \left( \frac{5000}{22088,19} \right)^{1,4294-1} \cdot e^{-\left( \frac{5000}{22088,19} \right)^{1,4294}}$$

$$\underline{\underline{f(5000) = 3,03 \cdot 10^{-5}}}$$

Distribuční funkce:

$$F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$F(5000) = 1 - e^{-\left(\frac{5000}{22088,19}\right)^{1,4294}}$$

$$\underline{\underline{F(5000) = 0,11}}$$

Bezporuchovost:

$$R(l) = e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$R(5000) = e^{-\left(\frac{5000}{22088,19}\right)^{1,4294}}$$

$$\underline{\underline{R(5000) = 0,89}}$$

Intenzita poruch:

$$\lambda(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1}$$

$$\lambda(5000) = \frac{1,4294}{22088,19} \cdot \left(\frac{5000}{22088,19}\right)^{1,4294-1}$$

$$\underline{\underline{\lambda(5000) = 3,42 \cdot 10^{-5} \text{ km}^{-1}}}$$

Výsledky jsou zaokrouhlovány na 2 desetinná místa, po kontrole hodnot, které mi vyšly s tabulkou 18, vypočítanou pomocí Excelu, se výsledky shodují.

#### Weibullovo rozdělení poruch řídicích obvodů lokomotivy

Tab. 19 – Data pro sestavení grafu s parametry rovnice přímky

l(km)	ln(l)	ni	Fi(l)(m)	ln(-ln(1-Fi(l)(m)))
3000	8,006368	1	0,083333	-2,441716399
6000	8,699515	2	0,202381	-1,486670964
9000	9,10498	3	0,321429	-0,947354424
12000	9,392662	4	0,440476	-0,543574052
15000	9,615805	5	0,559524	-0,198574256
18000	9,798127	6	0,678571	0,12661497
21000	9,952278	7	0,797619	0,468504666
24000	10,08581	8	0,916667	0,910235093

Kde:

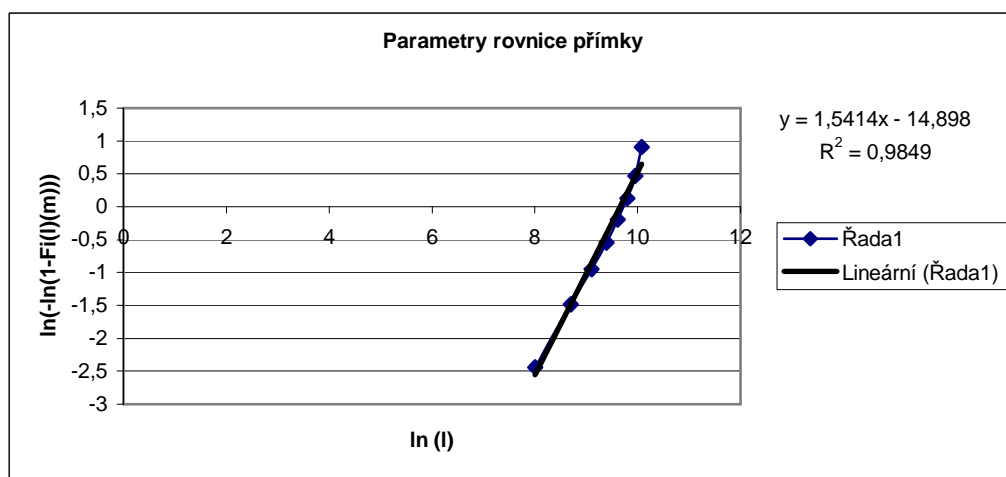
$l$  – kilometrický proběh lokomotivy do provozního ošetření, při kterém byla v pomocných pohonech zaznamenána porucha [km],

$\ln(l)$  – přirozený logaritmus hodnoty kilometrického proběhu,

$n_i$  – pořadové číslo kilometrického proběhu, při kterém byla zaznamenána porucha [-],

$Fi(l)(m)$  – mediánové pořadí, určí se ze vzorce (21),

$N$  – celkový počet provozních ošetření, při nichž byla zaznamenána porucha,  $N = 8$ .



Obr.23 – Parametry rovnice přímky

Z rovnice přímky v obrázku 23 vyčtu hodnoty:  $m = 1,5414$

$$q = -14,898$$

Parametr měřítka -  $l_0$  určím dle vzorce (22):

$$l_0 = e^{-\frac{q}{m}}$$

$$l_0 = e^{-\frac{-14,898}{1,5414}}$$

$$\underline{\underline{l_0 = 15760,14 \text{ km}}}$$

střední hodnota  $L_s$  je dána vztahem (23):

$$L_s = l_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

$$L_s = 15760,14 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,5414}\right)$$

$$\underline{\underline{L_s = 14183,02 \text{ km}}}$$

Kde:

$\Gamma$  - neúplná Eulerova gama funkce (tabelovaná)

Tab.20 – Data pro určení hustoty pravděpodobnosti poruchy, distribuční funkce, pravděpodobnosti bezporuchového provozu a intenzity poruch **řídících obvodů lokomotivy 150.026 - 3:**

$l$	$f(l)$	$F(l)$	$R(l)$	$\lambda(l)$
0,01	4,31515E-08	2,7995E-10	1	4,31515E-08
5000	4,43011E-05	0,15667377	0,843326233	5,25313E-05
10000	4,65572E-05	0,39103776	0,608962245	7,64533E-05
15000	3,76964E-05	0,60411568	0,395884316	9,52208E-05
20000	2,62643E-05	0,76395627	0,236043732	0,000111269
25000	1,63847E-05	0,86950384	0,130496159	0,000125557
30000	9,33951E-06	0,93260704	0,067392964	0,000138583
35000	4,92481E-06	0,96730847	0,032691526	0,000150645
40000	2,42258E-06	0,98504018	0,01495982	0,000161939
45000	1,11852E-06	0,99351964	0,006480359	0,000172602
50000	4,86999E-07	0,99733492	0,002665078	0,000182734
55000	2,00703E-07	0,9989569	0,0010431	0,00019241
60000	7,85336E-08	0,99961062	0,000389375	0,000201691
65000	2,92517E-08	0,99986112	0,000138881	0,000210624
70000	1,03943E-08	0,99995259	4,74095E-05	0,000219246
75000	3,53041E-09	0,99998449	1,55121E-05	0,000227591
80000	1,14805E-09	0,99999513	4,87117E-06	0,000235683

Kde:

$l$  – kilometrický proběh vozidla zvolený tak, aby zahrnoval všechny proběhy do provozního ošetření [km],

$f(l)$  – hustota pravděpodobnosti poruchy [-],

$F(l)$  – distribuční funkce [-],

$R(l)$  – pravděpodobnost bezporuchového provozu [-],

$\lambda(l)$  – intenzita poruch [ $\text{km}^{-1}$ ].

*Příklad výpočtu hustoty pravděpodobnosti poruchy, distribuční funkce, bezporuchovosti a intenzity poruch pro proběh 5000 km:*

Hustota pravděpodobnosti poruchy:

$$f(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$f(5000) = \frac{1,5414}{15760,14} \cdot \left(\frac{5000}{15760,14}\right)^{1,5414-1} \cdot e^{-\left(\frac{5000}{15760,14}\right)^{1,5414}}$$

$$\underline{\underline{f(5000) = 4,43 \cdot 10^{-5}}}$$

Distribuční funkce:

$$F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$F(5000) = 1 - e^{-\left(\frac{5000}{15760,14}\right)^{1,5414}}$$

$$\underline{\underline{F(5000) = 0,16}}$$

Bezporuchovost:

$$R(l) = e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m}$$

$$R(5000) = e^{-\left(\frac{5000}{15760,14}\right)^{1,5414}}$$

$$\underline{\underline{R(5000) = 0,84}}$$

Intenzita poruch:

$$\lambda(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1}$$

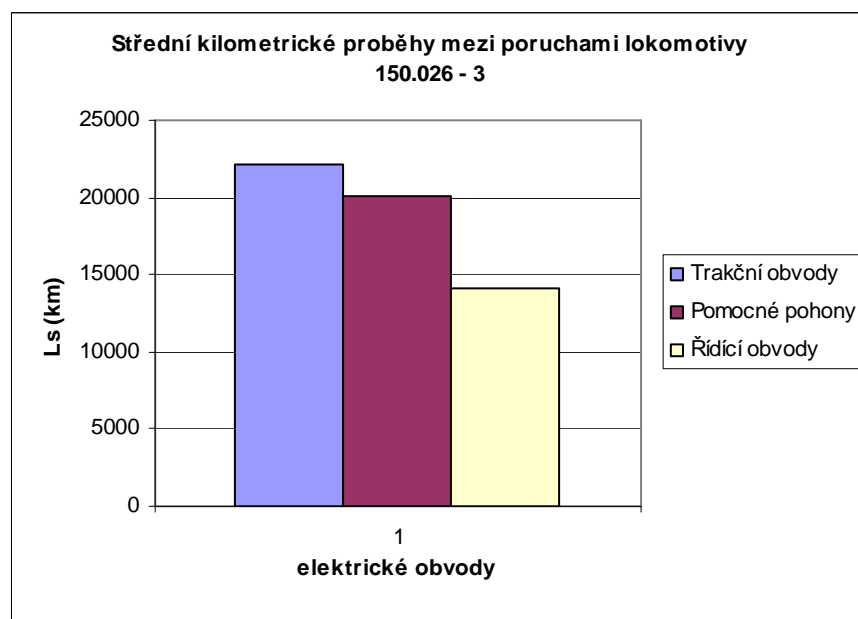
$$\lambda(5000) = \frac{1,5414}{15760,14} \cdot \left(\frac{5000}{15760,14}\right)^{1,5414-1}$$

$$\underline{\underline{\lambda(5000) = 5,25 \cdot 10^{-5} \text{ km}^{-1}}}$$

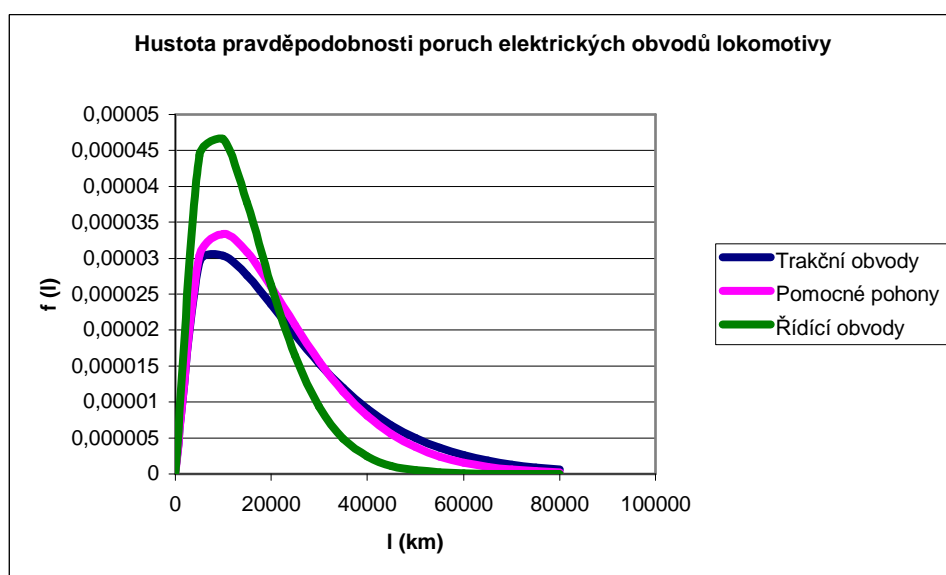
Výsledky jsou zaokrouhlovány na 2 desetinná místa, po kontrole hodnot, které mi vyšly s tabulkou 20, vypočítanou pomocí Excelu, se výsledky shodují.



## Grafická část:

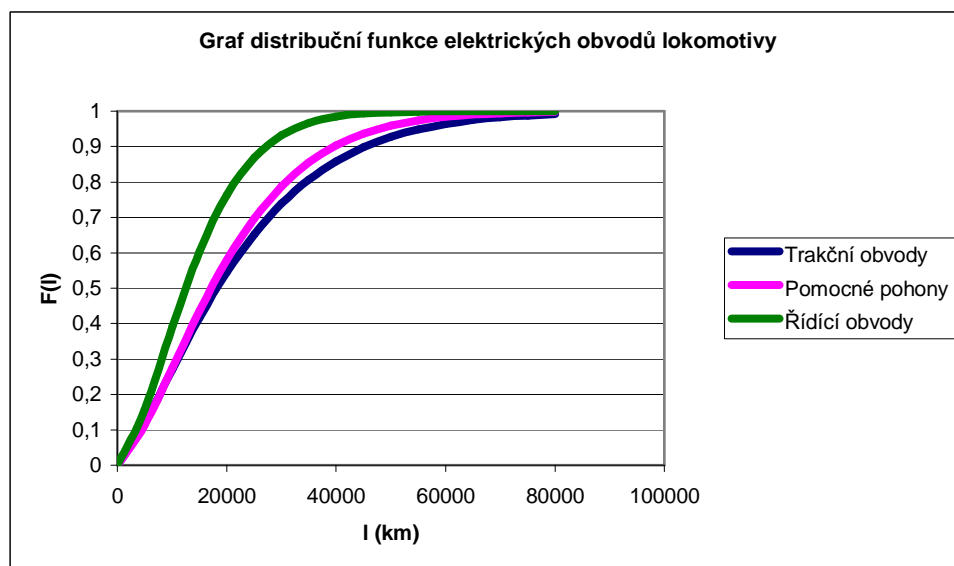


Obr.24 –Střední kilometrické proběhy mezi poruchami lokomotivy 150.026 - 3

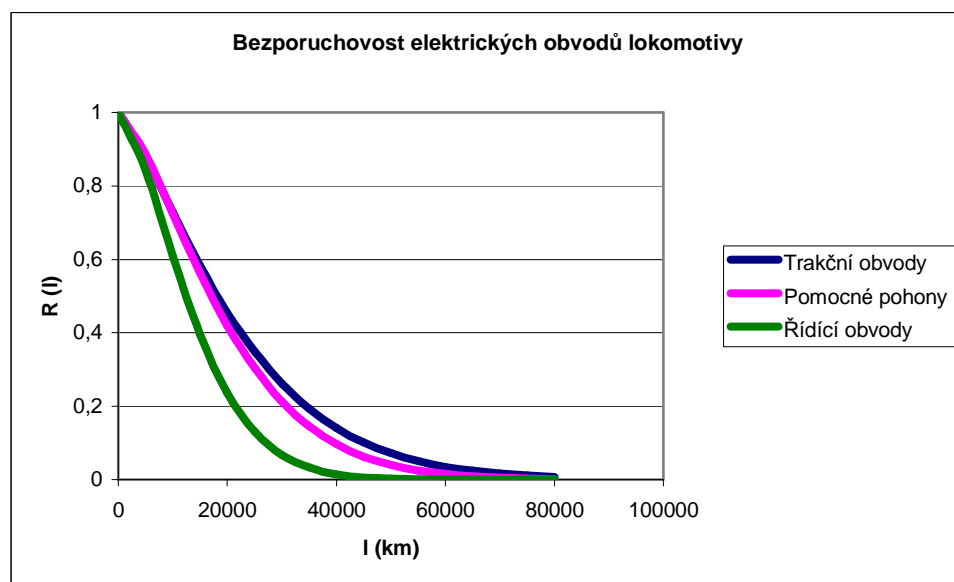


Obr.25 – Hustota pravděpodobnosti poruch elektrických obvodů

Z obrázku 25 lze vyčíst, že **porucha nastane s největší pravděpodobností ve skupině řídících obvodů**, naopak **nejmenší pravděpodobnost poruchy je ve skupině trakčních obvodů**.

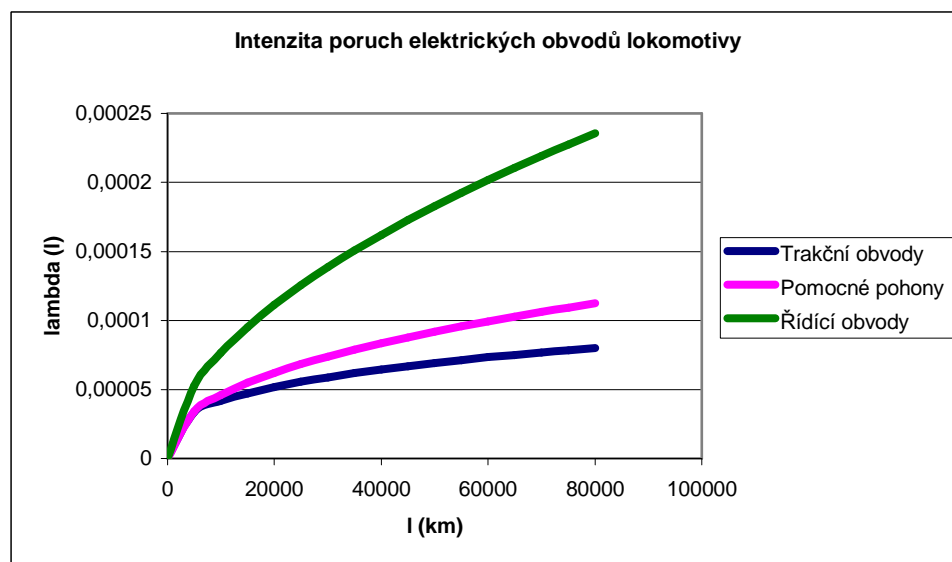


Obr.26 – Graf distribuční funkce elektrických obvodů



Obr.27 – Bezporuchovost elektrických obvodů

**Největší pravděpodobnost bezporuchového provozu mají trakční obvody a nejmenší pravděpodobnost mají naopak řídící obvody.**



Obr.28 – Intenzita poruch elektrických obvodů

**Poruchy o největší intenzitě zaznamenával řídicí systém HS 198 u skupiny řídicích obvodů, a nejmenší intenzitu poruch měla skupina trakčních obvodů.**

#### 4. Technické a ekonomické zhodnocení získaných výsledků

Pro stanovení etapy doby života, ve které se výrobek při analýze poruchovosti nachází, má rozhodující význam parametr  $m$ , protože charakterizuje příslušnou část vanové křivky. [6]

V mém případě je ve všech třech skupinách elektrických obvodů parametr tvaru  $m > 1$ , což znamená, že elektrické obvody lokomotivy 150.026 – 3 se nachází ve stavu dožívání.

Uvažovalo se o životnosti elektrických obvodů asi 20 let, na konci roku 2000 uplynulo od uvedení do provozu 23 let. Je tedy pochopitelné, že vyšel právě takový výsledek.

Na způsobu odstranění poruch v elektrických obvodech jsou závislé náklady, spojené s odstraněním poruchy. Poruchy elektrických obvodů, zaznamenané mikroprocesorovým řídicím systémem HS 198, mohou být odstraněny třemi způsoby:

- 1) Odstranění poruchy obsluhou na místě, což má za následek minimální finanční náklady, řádově do tisíce korun.
- 2) Odstranění poruchy v DKV pracovníky údržby bez výměny součásti, na což musí ČD vynaložit desetitisíce.
- 3) Odstranění poruchy v DKV s výměnou součásti, cena se může dostat až na statisíce [12].

Analýza poruchových dat je závislá na přesnosti nastavení diagnostiky mikroprocesorového řídicího systému HS 198. Za předpokladu chybného hlášení poruchy může dojít k nárůstu nákladů na její odstranění, které v případě jednoho stykače představují časové ztráty v trvání asi 15 minut a finanční ztráty v hodnotě asi 300 Kč [7].

## Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo provést hodnocení provozní spolehlivosti železničních kolejových vozidel na základě analýzy dat. Z mých výpočtů vyplývá, že elektrické obvody na lokomotivě 150.026 – 3 se ke dni 14.12.2000 nacházel v etapě technického života zvané dožívání. Je to dáno tím, že parametr tvaru **m**, který charakterizuje příslušnou část vanové křivky, je u všech tří skupin elektrického obvodu **větší než 1**.

U skupiny trakčních obvodů je parametr tvaru **m = 1,3153**, u pomocných pohonů **m = 1,4294** a u řídicích obvodů **m = 1,5414**.

Jelikož byla lokomotiva 150.026 – 3 uvedena do provozu v roce 1978, a předpokládala se životnost elektrických obvodů asi 20 let, tak je zřejmé, že jsou mé výpočty správné, protože na konci roku 2000 uplynulo od uvedení do provozu 23 let.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČERNOHOUS, Petr. *Četnosti poruch: školní program*. Šumperk: 2009. 10 s.
- [2] ČERNOHOUS, Petr. *Odhad parametrů v Excelu: školní program*. Šumperk: 2009. 15 s.
- [3] České dráhy, a.s. Praha 1. *ČD V 25 – Příloha č.1 změna č.2, Předpis pro organizaci údržby elektrických a motorových hnacích vozidel, osobních, vložených, přípojných a řídicích vozů*. 2000.
- [4] ČSN ISO 9000. *Management jakosti*, 1987.
- [5] ČSN IEC 50(191). *Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb*, 1993.
- [6] FAMFULÍK, Jan; MÍKOVÁ, Jana; KRZYŽANEK, Radek. *Teorie údržby* [online]. 1.vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. 3.3.2008. [cit. 2. ledna 2009]. Dostupný z WWW: <<http://homel.vsb.cz/~krz011/>>. ISBN 978-80-248-1509-1.
- [7] FAMFULÍK, Jan. Osobní sdělení. [cit. 6.května 2010].
- [8] HS TRANS s.r.o., Olomouc. *HS 198*.
- [9] Příspěvatelé Wikipedie, *Lokomotiva 150* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2009, 5. 12. 2009, [cit. 23. prosince 2009]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lokomotiva\\_150&oldid=4679749](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lokomotiva_150&oldid=4679749)>.
- [10] Příspěvatelé Wikipedie, *Lokomotiva 151* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2009, 7. 05. 2009, [cit. 23. prosince 2009]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lokomotiva\\_151&oldid=3944130](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lokomotiva_151&oldid=3944130)>
- [11] SOJKA, Jaromír. *Provozní spolehlivost železničních kolejových vozidel: doktorská disertace*. Šumperk. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2004. 79s., 2 příl.

- [12] SOJKA, Jaromír. Osobní sdělení. [cit. 23.4.2010].
- [13] SVOBODA, Pavel. *Řídicí systém HS 198* [online]. [cit. 14. dubna 2010]. Dostupný z WWW: < <http://www.hstrans.cz/cs/seznam-vyroby/ridici-systemy/hs-198/>>.
- [14] ŠVESTKA, David. *Lokomotivní řada 150, 151* [online]. 2004. 13.8.2006. [cit. 21. prosince 2009]. Dostupný z WWW:< <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-150.html>>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Číslo obrázku	Název	Strana
1	Lokomotiva řady 150	9
2	Lokomotiva řady 151	10
3	Mikroprocesorový řídicí systém HS 198	13
4	Hustota pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny	16
5	Hustota pravděpodobnosti diskrétní náhodné veličiny	16
6	Distribuční funkce spojité náhodné veličiny	17
7	Distribuční funkce diskrétní náhodné veličiny	17
8	Pravděpodobnost bezporuchového provozu	18
9	Vzájemný vztah distribuční funkce a bezporuchovosti	18
10	Histogram relativní četnosti	21
11	Histogram absolutní četnosti	21
12	Princip Paretovy analýzy	22
13	Vanová křivka	23
14	Parametry rovnice přímky	25
15	Ishikawův diagram příčin a následků	26
16	Regulační diagram	27
17	Rozdělení poruch elektrických obvodů lokomotivy 150.026 - 3	33
18	Histogram četností poruch trakčních obvodů	35
19	Histogram četností poruch pomocných pohonů	37
20	Histogram četností poruch řídicích obvodů	38
21	Parametry rovnice přímky	40
22	Parametry rovnice přímky	44
23	Parametry rovnice přímky	47
24	Střední kilometrické proběhy mezi poruchami lokomotivy 150.026–3	50
25	Hustota pravděpodobnosti poruch elektrických obvodů	50
26	Graf distribuční funkce elektrických obvodů	51
27	Bezporuchovost elektrických obvodů	51
28	Intenzita poruch elektrických obvodů	52



## SEZNAM TABULEK

Číslo tabulky	Název	Strana
1	Tabulka technických údajů lokomotiv řady 150, 151	12
2	Nastavení mikroprocesorového řídicího systému HS 198	13
3	Příklady poruch elektrických obvodů lokomotiv řady 150 a 151	14
4	Hodnoty relativních četností	20
5	Hodnoty absolutních četností	21
6	Normy kilometrických proběhů pro přístavbu ŽKV do provozních ošetření, periodických prohlídek a periodických oprav	28
7	Zjištěné poruchy elektrických obvodů na lokomotivě 150.026 - 3	30
8	Počty poruch elektrických obvodů lokomotivy 150.026 - 3	33
9	Tabulka četností poruch trakčních obvodů	34
10	Data pro sestavení histogramu četností poruch trakčních obvodů	34
11	Tabulka četností poruch pomocných pohonů	36
12	Data pro sestavení histogramu četností poruch pomocných pohonů	36
13	Tabulka četností poruch řídicích obvodů	38
14	Data pro sestavení histogramu četností poruch řídicích obvodů	38
15	Data pro sestavení grafu s parametry rovnice přímky	40
16	Data pro určení hustoty pravděpodobnosti, distribuční funkce, pravděpodobnosti bezporuchového provozu a intenzity poruch trakčních obvodů	41
17	Data pro sestavení grafu s parametry rovnice přímky	43
18	Data pro určení hustoty pravděpodobnosti, distribuční funkce, pravděpodobnosti bezporuchového provozu a intenzity poruch pomocných pohonů	45
19	Data pro sestavení grafu s parametry rovnice přímky	46
20	Data pro určení hustoty pravděpodobnosti, distribuční funkce, pravděpodobnosti bezporuchového provozu a intenzity poruch řídicích obvodů	48

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A	Diagnostika poruch lokomotiv řady 150 a 151
Příloha B	CD s aplikací výrobce řídicího systému HS 198

<b><u>Diagnostika poruch lokomotiv řady 150, 151</u></b> (1.část)		
<b>Číslo chyby</b>	<b>Popis poruchy</b>	<b>Pokyny pro obsluhu</b>
Chyba 1	Porucha linkového stykače S1	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 2	Porucha linkového stykače S2	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 3	Porucha linkového stykače S3	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 4	Porucha linkového stykače S4	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 5	Porucha linkového stykače S5	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 8	Porucha stykače S8	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 9	Porucha stykače S9	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 18	Porucha stykače S18	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 19	Porucha stykače S19	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 10	Porucha stykače S10	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 11	Porucha stykače S11	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 12	Porucha stykače S12	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 13	Porucha stykače S13	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 14	Porucha stykače S14	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 15	Porucha stykače S15	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 20	Porucha stykače S20	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 21	Porucha stykače S21	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 22	Porucha stykače S22	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 23	Porucha stykače S23	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 24	Porucha stykače S24	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 25	Porucha stykače S25	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 31	Porucha stykače S31	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 32	Porucha stykače S32	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 33	Porucha stykače S33	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 34	Porucha stykače S34	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 41	Porucha stykače S41	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 42	Porucha stykače S42	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 43	Porucha stykače S43	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 44	Porucha stykače S44	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 46	Porucha brzdového stykače S46	Kontrola silového a pomocného kontaktu

<b><u>Diagnostika poruch lokomotiv řady 150, 151</u></b> (2.část)		
<b>Číslo chyby</b>	<b>Popis poruchy</b>	<b>Pokyny pro obsluhu</b>
Chyba 47	Porucha brzdového stykače S47	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 48	Porucha brzdového stykače S48	Kontrola silového a pomocného kontaktu
Chyba 54	Porucha přepojovače V4 v jízdě	Kontrola polohy a pomocného kontaktu
Chyba 55	Porucha přepojovače V5 v jízdě	Kontrola polohy a pomocného kontaktu
Chyba 56	Porucha přepojovače V6 v jízdě	Kontrola polohy a pomocného kontaktu
Chyba 60	Rozpad linkových stykačů v brzdě	Kontrola silových a pomocných kontaktů
Chyba 64	Porucha přepojovače V4 v brzdě	Kontrola polohy a pomocného kontaktu
Chyba 65	Porucha přepojovače V5 v brzdě	Kontrola polohy a pomocného kontaktu
Chyba 66	Porucha přepojovače V6 v brzdě	Kontrola polohy a pomocného kontaktu
Chyba 67	Odpad B29 za EDB v brzdě	Otevření dveří do strojovny v brzdě
Chyba 68	Zásah obrany EDB v brzdě	Kontrola závady v obvodech EDB
Chyba 71	Porucha ventilačního relé vent.1	Kontrola větrného relé
Chyba 72	Porucha ventilačního relé vent.2	Kontrola větrného relé
Chyba 76	Porucha čidla 1. nápravy	Automatické vyřazení skluzové ochrany
Chyba 77	Porucha čidla 2. nápravy	Automatické vyřazení skluzové ochrany
Chyba 78	Porucha čidla 3. nápravy	Automatické vyřazení skluzové ochrany
Chyba 79	Porucha čidla 4. nápravy	Automatické vyřazení skluzové ochrany
Chyba 80	Generální porucha pom. pohonů	Automatické sepnutí nouzového relé B30
Chyba 81	Porucha kompresoru 1	Kontrola oleje,tlakového spínače,VN poj.
Chyba 82	Porucha kompresoru 2	Kontrola oleje,tlakového spínače,VN poj.
Chyba 83	Porucha ventilátorů	Kontrola dynam, VN pojistky, Sep.1-3,2-3
Chyba 85	Zásah termost. šroub. kompresoru	Automatické chlazení kompresoru
Chyba 90	Výpadek zdroje +15 V	Zajištěno automatické odpojení zdroje
Chyba 91	Výpadek zdroje -15 V	Zajištěno automatické odpojení zdroje
Chyba 92	Výpadek zdroje +5 V	Zajistit záložní napájecí zdroj
Chyba 94	Chyba bloku rychlosti	Není nutný žádný zásah
Chyba 95	Chyba bloku CPU1	Automatické přepnutí na CPU2 s vyp.HV
Chyba 96	Chyba bloku CPU2	Automatické přepnutí na CPU1 s vyp.HV
Chyba 97	Chyba měření Ik	Výpadek soupravy měření, vyp. HV v jízdě
Chyba 98	Chyba měření Ub	Výpadek soupravy měření, vyp. HV v jízdě